

# Agriculture et développement

## Spécial sols tropicaux

n° 18 – Juin 1998

Revue trimestrielle ISSN 1249-9951





## Sols tropicaux : quelques expériences de gestion de la matière organique

**D**ans les pays du Sud, la plupart des agriculteurs n'ont pas encore les moyens d'intensifier leur production ; aussi exploitent-ils le maximum d'espace cultivable pour satisfaire les besoins quotidiens d'une population toujours plus nombreuse. Cela a pour conséquence une dégradation multiforme du milieu naturel et de l'environnement socio-économique.

La mise en culture de terres dites marginales — sols pauvres ou épuisés, terrains en pente, zones traditionnellement non cultivées — limite les espaces voués à d'autres productions, pâturages et parcours, réserve de bois, indispensables à la vie rurale. De même, l'utilisation des résidus de culture à des fins domestiques — combustibles, palissades, alimentation animale, vente en zone urbaine — empêche le recyclage de cette matière végétale dans la parcelle pour en maintenir ou en améliorer la fertilité. La surexploitation des pâturages naturels réduit leur productivité par suite d'une dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques, conduisant, entre autres, à l'acidification et aux érosions éoliennes et hydriques.

Le contexte économique actuel, caractérisé par le désengagement des Etats dans leur soutien au milieu agricole et par l'ouverture au marché international, limite les possibilités d'intensification de l'agriculture au niveau des petits exploitants. Pourtant, le savoir-faire des paysans du Sud et leur capacité à adapter les systèmes de culture aux contraintes de l'environnement — sécheresses prolongées, accroissement de la demande urbaine, intégration à l'économie de marché — ne sont plus à démontrer. Mais, conscients de la nécessaire préservation de la productivité de leurs terres, les agriculteurs sont prêts à adopter les propositions d'une recherche novatrice, même s'ils doivent alors compenser leur faible capacité d'investissement monétaire par un accroissement de leur investissement en travail.

Dans ce domaine, dès les années 50, BOUFFIL (1956) suggérait « d'augmenter à l'unité de surface le potentiel de production du sol africain par toutes les méthodes modernes de culture, à la condition expresse que le capital sol, que nous prenons techniquement en charge au début de notre action, soit non seulement conservé mais amélioré ». Ce précepte est bien d'actualité, en accord avec les préoccupations de préservation du milieu naturel et cultivé : pour l'amélioration de la fertilité des terroirs la recherche et le développement se doivent d'inventer et de tester des solutions globales, qui incluent les aspirations des agriculteurs, des éleveurs et des gestionnaires de l'espace naturel.

Réalisée à l'occasion du 16<sup>e</sup> Congrès Mondial de Science du Sol (Association internationale de la science du sol, 20-26 août 1998, Montpellier, France), la présente publication est consacrée à différentes études et recherches, menées par le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France), l'Orstom (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, France) et leurs partenaires du Sud, sur la gestion des terres en Afrique, aux Antilles et au Brésil. Elles mettent un accent particulier sur les modes de gestion organique et biologique des sols cultivés en zones semi-arides à sub-humides, tout en tenant compte des conditions biophysiques, sociales et économiques.

Le sommaire de ce numéro ouvre sur une présentation des milieux physiques et humains, orientée surtout vers l'Afrique au sud du Sahara. Les expériences relatées ensuite couvrent des thèmes qui correspondent à l'évolution nécessaire des pratiques paysannes : les jachères améliorées ou spontanées, les plantes de couverture, la fumure organique, le travail du sol et, enfin, l'association de l'agriculture et de l'élevage, pour laquelle un bilan plus spécifique est établi sur les transferts de fertilité à l'échelle des terroirs villageois.

Que les auteurs, pour qui le délai de rédaction a été très court, et les relecteurs, qui ont accompli un remarquable travail d'évaluation, trouvent dans l'accomplissement de cette édition l'expression de remerciements fondés.

*Francis GANRY (Cirad) et Christian FELLER (Orstom)*

BOUFFIL F., 1956. Possibilités d'évolution rapide de l'agriculture africaine. In Le Centre de recherches agronomiques de Bambey au service de la production, résultats pratiques de 1947 à 1955. Gouvernement général de l'Afrique occidentale française, Inspection générale de l'agriculture, p. 9-11.



# Agriculture et développement



Revue éditée par le département  
des cultures annuelles  
du Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique  
pour le développement

Cirad-ca  
BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Téléphone : +33 4 67 61 55 67

Télécopie : +33 4 67 61 55 13

Mél : calmel@cirad.fr

Directeur de la publication : H. Manichon

Rédacteurs en chef : C. Fovet-Rabot, C. Jourdan-Ruf

Secrétariat de rédaction : R. Calmel

Editeurs scientifiques de ce numéro spécial :  
C. Feller (Orstom-Lcsc), F. Ganry (Cirad-amis)

Conception, réalisation : Cirad-dist

Comité de rédaction : C. Cohen, M. De Raissac,  
P.-Y. Le Gal, A. Leplaideur, P. Marnotte, C. Poisson,  
M. Raunet, H. Saint Macary, B. Toutain, G. Trébuil,  
B. Vercambre (Cirad) ; P. Rémy (ministère des affaires  
étrangères, coopération, francophonie)

Conseil scientifique : W. Andrieux (Sc-Dlo, Pays-Bas),  
A. Angé (Cirad, France), P. Bisson (Cirad, France),  
A. Budelman (Kit, Tanzanie), J. Caneill (Ina Pg, France),  
B. Catrisse (Cirad, France), L. Cisse (Icrisat, Niger),  
J.-P. Ekebil (Iita, Nigeria), J. Faure (Cirad, France),  
A. Félix (Cfd, France), C. Feller (Orstom, France),  
J.-C. Follin, (Cirad, France), A. Huijsman (Kit, Pays-Bas),  
B. Leduc (Cirad, France), J. Lefort (Cirad, France),  
P. Lhoste (Cirad, France), P.-J. Matlon (Adrao,  
Côte d'Ivoire), J.-M. Meynard (Inra, France), D. Picard  
(Cirad, France), F. Rasolo (Fofifa, Madagascar),  
D. Richard (Cirad, France), A. Russell-Smith (Nri,  
Grande-Bretagne), A. Sarr (université Paris IX, France),  
M. Sedogo (Cnrst, Burkina)

Comité de lecture : chaque article publié est soumis à un  
comité de lecture composé des spécialistes du sujet

Imprimerie Cirad

Périodicité : trimestrielle

ISSN 1249-9951

Dépôt légal : Juin 1998

## S o m m a i r e . . .

### Sols tropicaux : quelques expériences de gestion de la matière organique

#### 1 Editorial

**FD** Présentation générale – F. GANRY, C. FELLER  
*General presentation*  
*Presentación general*

### Approche globale du milieu physique et humain

*Overall approach to the physical and human environment*  
*Enfoque global del medio ambiente físico y del entorno humano*

#### 5 L'organisation du milieu tropical. Implications sur l'étude et l'aménagement des paysages agraires. Cas de l'Afrique de l'Ouest – R. BERTRAND

*Organizing the tropical physical environment. Implications for the study  
and development of agrarian landscapes. Example: West Africa*  
La organización del medio ambiente físico tropical. Implicaciones sobre  
el estudio y el acondicionamiento de los paisajes agrarios. Caso del  
Africa del Oeste

#### 13 Gestion de la fertilité et stratégies paysannes. Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre – P. DUGUE

*Soil fertility management and smallholder strategies. Example: savannah  
zones in West and Central Africa*  
Manejo de la fertilidad y estrategias campesinas. El caso de las zonas  
de sabanas de Africa del Oeste y del Centro

### Jachères améliorées ou spontanées

*Improved or wild fallow*  
*Barbechos mejorados o espontáneos*

#### 21 Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière – J.-M. HARMAND, C.-F. NJITI

*Effect of agroforest fallow on the properties of a ferruginous soil  
and on cereal production*  
Efecto de barbechos agroforestales en las propiedades de un suelo  
ferruginoso y en la producción de cereales

#### 31 Jachères naturelles et restauration des propriétés des sols en zone semi-aride. Cas du Sénégal – D. MASSE, P. CADET, J.-L. CHOTTE, N. DIATTA, C. FLORET, N. N'DIAYE-FAYE, E. PATE, R. PONTANIER, J. THIOULOUSE, C. VILLENAVE

*Natural fallow and soil properties restoration in semi-arid zones.  
Example: Senegal*  
Los barbechos naturales y la restauración de las propiedades de los suelos  
en zona semi-árida. Caso de Senegal

#### 39 Effets induits du paillage post-cultural d'un sol sableux encroûté au Sahel. Conséquences sur l'amélioration de son fonctionnement hydrique – J. LEONARD, J.-L. RAJOT

*The effects of post-harvest mulching on an encrusted sandy soil in the  
Sahel. Impact on improving water supply capacity*  
Efectos inducidos del empajado post-cultural de un suelo arenoso  
con incrustación en Sahel. Consecuencias sobre el mejoramiento  
de su funcionamiento hídrico

## *Tropical soils: some organic matter management trials*

## **Suelos tropicales: algunos experimentos del manejo de la materia orgánica**

- 47** **Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées. Bilan minéral (Korhogo, nord Côte d'Ivoire) – D. LOUPPE, N. OUATTARA, R. OLIVER**  
*Fertility management in three arboreous fallow areas. Mineral balance (Korhogo, nord Côte d'Ivoire)*  
 Mantenimiento de la fertilidad en tres barbechos con árboles. Balance mineral (Korhogo, norte de Costa de Marfil)

## **Plantes de couverture, fumure organique, travail du sol**

*Cover crops, organic fertilizer, soil preparation*  
*Plantas de cobertura, fertilización orgánica, trabajo del suelo*

- 55** **Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin – A. AZONTONDE, C. FELLER, F. GANRY, J.-C. REMY**  
*Use of mucuna to restore properties of ferrallitic soils in southern Benin*  
 El mucuna y la restauración de las propiedades de un suelo ferralítico en el sur de Benin
- 63** **Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien. Fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture du mil, étude au Niger – A. DE ROUW**  
*Soil fertility management in the Sahel. Manure, organic matter and crust formation in the topsoil in millet-based farming systems, study in Niger*  
 Manejo de la fertilidad del suelo en un terruño saheliano. Fertilización animal, materia orgánica e incrustación superficial del suelo en los sistemas de cultivo del mijo, estudio en Níger
- 73** **La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique de l'Ouest. Diagnostic et perspectives – F. GANRY, A. BADIANE**  
*Agricultural use of manure and compost in the Sudan-Sahel region of Africa. Diagnosis and prospects*  
 La valorización de los estiércoles y de los abonos compuestos en Africa Sudano-saheliana. Diagnóstico y perspectivas
- 81** **Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique : incidences pédologiques et agro-économiques – C. HARTMANN, E. BLANCHARD, A. ALBRECHT, A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULIER, J.-F. NDANDOU**  
*New ways of preparing vertisols for market garden crops in Martinique. Pedological and agro-economic effects*  
 Nuevas técnicas de preparación de los vertisoles en cultivo de plantas comestibles en Martinica. Incidencias pedológicas y agro-económicas

## **Relations agriculture et élevage**

*Relations between agriculture and livestock rearing*  
*Relaciones agricultura y ganadería*

- 91** **Intégration culture-élevage dans les Cerrados au Brésil : une solution pour des systèmes durables – M.A. AYARZA, L. VILELA, A. DE O. BARCELLOS, L.C. BALBINO, M. BROSSARD, A. PASINI**  
*Integrating agriculture and livestock rearing in the Cerrados, Brazil: a solution for sustainable systems*  
 Integración agricultura-ganadería en los Cerrados en Brasil: una solución para sistemas sustentables.
- 99** **Les transferts de fertilité dus à l'élevage en zone de savane – P. DUGUE**  
*Fertility transfers due to livestock rearing in savannah zones*  
 Las transferencias de fertilidad debidas a la ganadería en zona de sabana







Les sols sableux du Nair sont très profonds ; ils permettent un enracinement très important des ligneux et des autres cultures et une valorisation des pluies et de la fertilité minérale.

R. Bertrand

Aire du Kayor au nord du Sénégal.  
Surexploitation de la végétation  
ligneuse pour le bois de cuisine,  
et de la couverture herbacée  
par les troupeaux.

R. Bertrand



Sols sableux de Nair du nord  
du Sénégal. Aire du Kayor très cultivée,  
mise en valeur par un parc  
à *Faidherbia albida*. Sol dénudé  
après une culture d'arachide.

R. Bertrand

En zone sahélienne,  
les vents sont réguliers.  
Mais ils déclenchent parfois  
des tornades entraînant  
le sable et les éléments  
les plus fins qui finissent  
par se déposer dans  
la grande forêt tropicale.

Les conséquences sur  
la fertilité sont  
très importantes.

R. Bertrand



# L'organisation du milieu physique tropical

## Implications sur l'étude et l'aménagement des paysages agraires

### Cas de l'Afrique de l'Ouest et du Centre

Les systèmes agraires traditionnels s'inscrivent dans des systèmes de milieu naturel qu'ils modifient en créant « des ensembles doués d'une forte cohésion, tant au point de vue technique qu'à celui des aspects sociaux et économiques » (TRICART, 1962). Tel milieu est utilisé d'une certaine manière tandis que d'autres, en raison de leurs spécificités, seront exploités différemment. A chaque facette du milieu correspond une agriculture, un système de mise en valeur, une sensibilité plus ou moins marquée vis-à-vis des risques d'évolution régressive de la fertilité. La modification de ces systèmes, en équilibre précaire pour faire face aux conditions économiques, sociologiques et culturelles actuelles (explosion démographique, besoins nouveaux...), conduit souvent à une inadaptation des systèmes agraires aux caractéristiques du milieu naturel. Il en résulte une dégradation du milieu, souvent irréversible et rapide.

**S**ans diagnostic préalable des caractères et de la dynamique des milieux, la modification nécessaire des systèmes agraires traditionnels est faite en aveugle, donc très difficile à concevoir et à réaliser dans le respect du patrimoine naturel. Or, les recherches montrent que le milieu physique tropical est fortement structuré à divers niveaux scalaires. Les modèles d'organisation mis en évidence sous-tendent des dynamiques, des interactions qui permettent de comprendre, sinon de prévoir, les réactions du milieu à tel ou tel type d'aménagement ou d'utilisation agricole. Il nous appartient donc de présenter succinctement ces modèles à divers niveaux de perception et la démarche à suivre pour évaluer, dans les cas particuliers où œuvrent les chercheurs en agronomie, la portée des résultats acquis ou à acquérir.

## A l'échelle de la zone intertropicale

Du Sahel sud-saharien à la forêt tropicale, se succèdent des paysages pédologiques caractérisés par des interfluvés dont les sols — et leur organisation en toposéquences en fonction des modelés diversifiés —, les processus pédogénétiques et les contraintes semblent liés aux grandes zones climatiques (BERTRAND, à paraître) (figure 1).

---

R. BERTRAND

Cirad-tera, BP 5035, 34032 Montpellier  
Cedex 1, France  
Mél : bertrand@cirad.fr

---



**Les paysages sahéliens** à interfluves très larges et à pentes très faibles, quasi rectilignes sont caractérisés par la présence de sols riches en argiles gonflantes, des argiles noires tropicales (figure 2). Ils surmontent des altérites généralement minces à montmorillonites (BOCQUIER, 1971 ; BOULET, 1978 ; LEPRUN, 1979 ; PEREIRA-BARETO, 1967 ; GUILLOBEZ, 1979). En Afrique sahélienne, l'influence du substrat granito-gneissique peu profond et de l'indice de drainage nul ou très faible à l'échelle du versant (lié à l'aridité du climat) se traduit par la formation de sols sodiques et alcalins (solonetz et planosols ou solods). Chimiquement riches, (capacité d'échange cationique CEC supérieure à 50 méq/100 g d'argile, saturée en base), ces sols figurent parmi les sols les plus ingrats qu'il se peut trouver : l'eau y est énergiquement retenue par les argiles, et les racines, qui restent superficielles en raison de la compacité, n'utilisent qu'une faible partie des réserves minérales et hydriques. Très peu perméables, ils induisent de très forts taux de ruissellement, ce qui renforce l'aridité. Instables et difficiles à travailler, en raison de leur très forte cohésion, ils ne sont généralement pas utilisés par les agriculteurs.

Aussi, dans cette zone climatique, l'agriculture est cantonnée sur des ensembles dunaires à sols sableux (BERTRAND, 1992). Pauvres — en raison de leur texture très sableuse qui induit une très faible CEC, de quelques milliéquivalents — mais généreux, ils permettent un enracinement profond des cultures qui peuvent puiser l'eau et les éléments minéraux indispensables dans un très grand volume de terre. Mais ces sols, peu ou pas structurés, car très pauvres en argile et en matières organiques, sont très sensibles à la déflation éolienne en raison de leur granulométrie, liée à leur mode de mise en place par le vent. Ils nécessitent une protection par une couverture arborée, dont le plus bel exemple est celle du parc à *Faidherbia albida*.

**Les paysages soudaniens** (ESCHENBRENNER ET BADARELLO, 1978 ; BEAUDOU ET SAYOL, 1977 ; POSS, 1982 ; LEVEQUE, 1983) montrent des interfluves moins étendus, à modelé en

marches d'escalier séparées par des versants concaves (figure 3). Ils présentent des sols riches en kaolinite, et des altérites qui s'épaississent en allant vers les régions plus humides. Ces sols à colloïdes à faible activité (LAC, *Low activity clay*), caractéristiques des zones guinéennes pluvieuses, ont un réservoir minéral modeste (moins de 10 méq/100 g de sol). Aussi les risques d'acidification et, par suite de toxicité en aluminium sont sérieux. Cependant, dans les zones nord soudaniennes, la kaolinisation est partielle et associée à des altérites minces dans lesquelles se mêlent des débris de roches encore non altérée et souvent des illites, voire des smectites, ce qui donne des sols

relativement riches — CEC supérieure à 25 méq/100 g d'argile, libération lente de cations par altération des minéraux primaires — beaucoup moins sensibles à ce processus de dégradation.

Des accumulations de fer en cuirasses ou carapaces ferriques envahissent la majeure partie de l'espace au nord pour n'occuper que des surfaces de plus en plus faibles vers le sud où elles laissent la place à des nappes de gravillons ferrugineux. Le domaine agricole est réduit aux espaces non cuirassés et aux terres à cuirasse profonde.

Sur le socle granitique, les sols de bas de versant, de teinte jaunâtre, sont affectés, le plus souvent, par des

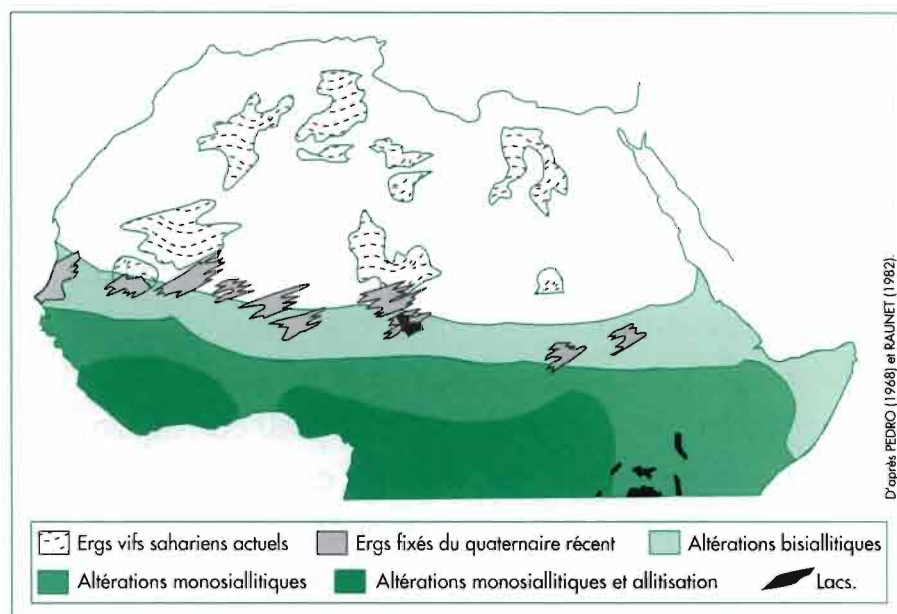


Figure 1. Les grands processus altérologiques tropicaux en Afrique au nord de l'équateur.

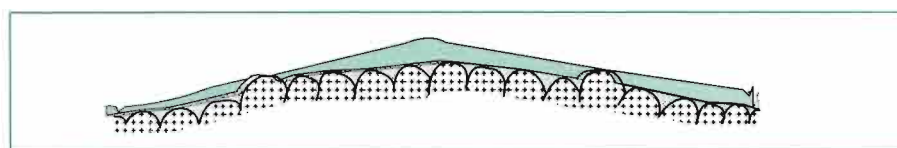


Figure 2. Zones sahéliennes, interfluves très larges (plus de 5 km), pentes très faibles et convaco-rectilignes, dominance de bisiallites minces, solonetz au nord, associés à des vertisols et à des sols bruns eutrophes au sud (aval sodique).

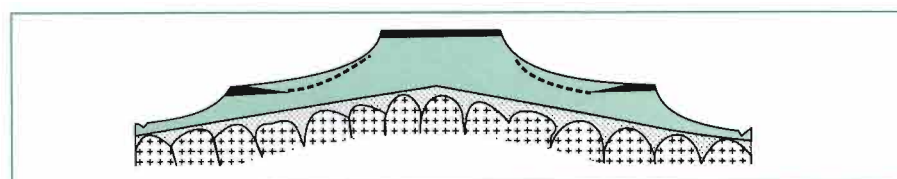


Figure 3. Zones soudaniennes, interfluves de largeur moyenne (1-3 km), pentes moyennes, concaves, dominante de monosiallites minces au nord et épaisses vers le sud, sols tropicaux ferrugineux au nord et ferallitiques au sud (aval ferrugineux).



engorgements saisonniers qui limitent la profondeur d'enracinement. Dans les grandes zones couvertes par des grès argileux, ce sont au contraire les vastes plateaux qui sont soumis aux effets de ces engorgements. Aussi, paradoxalement, les cultures souffrent davantage des excès d'eau que des aléas d'une pluviosité capricieuse. La mise en culture est marquée par une baisse rapide des teneurs en matières organiques, due à une diminution de la production de biomasse couplée à une minéralisation accélérée. La structure devient instable et des croûtes peu perméables couvrent peu à peu les terres ce qui augmente le ruissellement aux dépens de l'infiltration et de l'alimentation en eau des cultures.

**Les paysages guinéens forestiers** (BERTRAND, 1995) à interfluviaux très étroits, convexes, à profil transversal en demi-orange, (SEGALEN, 1967) montrent des sols paradoxalement peu épais sur des altérites hypertrophiées quasi-exclusivement kaoliniques (figure 4). Plus de cuirasses, mais souvent des nappes de gravillons ferrugineux ; un knick marque le passage des versants aux

bas-fonds marécageux et à sable quartzeux blanchi. Dans les régions guinéennes à fortes précipitations, la kaolinisation est alors parfois associée à une allitisation en sommet d'interfluve. Les sols, pauvres en éléments minéraux (CEC très faible, quelques milliéquivalents pour 100 g de sol, taux de saturation très faible inférieur à 20 %), particulièrement en phosphore énergiquement fixé sur les colloïdes, acides, présentent des toxicités aluminiques. En raison des fortes pluviosités et de la faible CEC des colloïdes, la lixiviation des éléments minéraux représente une menace importante qui accroît l'acidité et la toxicité en aluminium. En surface, la structure est fragile, largement inféodée aux teneurs en matières organiques en raison de la pauvreté en ions alcalino-terreux (moins de 1 méq/100 g de sol). Avec la baisse inéluctable des taux de matière organique, suite à la mise en culture, elle se déstabilise. Aussi, en raison de l'importance et de l'intensité des pluies sur les pentes fortes, spécifiques de ces milieux, le ruissellement se développe et le système devient instable.

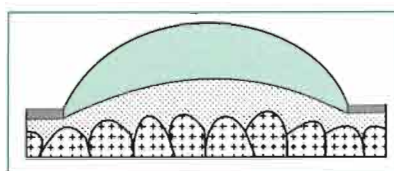


Figure 4. Zones forestières semperhumides, interfluviaux étroits (1 km au moins) à pentes fortes et convexes, dominante de monosiallites très épaisses, sols ferrallitiques se désaturant vers les zones humides.

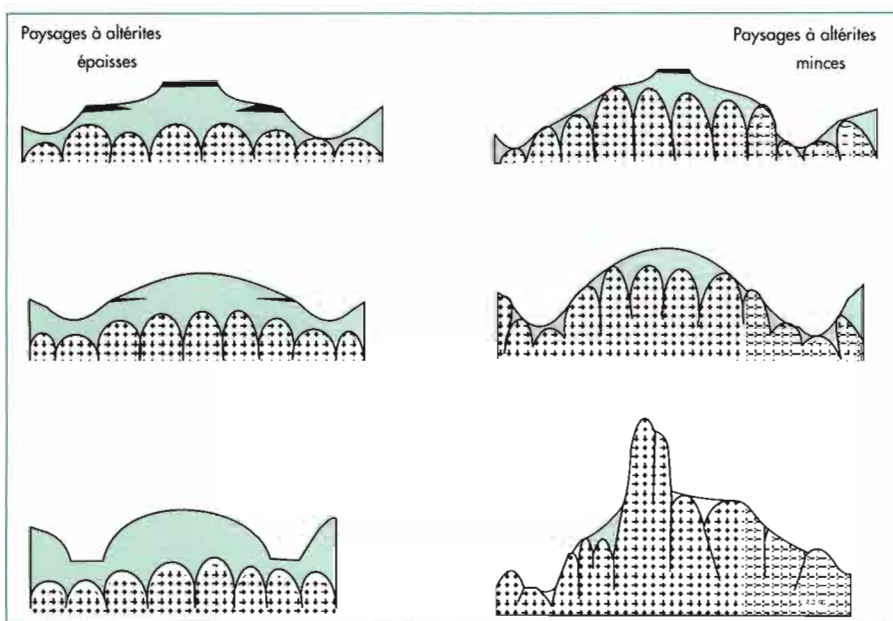


Figure 5. Organisation du milieu en régions tropicales humides sur le socle granito-gneissique. A gauche, paysages à altérites épaisses. A droite, paysages à altérites minces.

Cette brève analyse montre que, dans chaque domaine climatique du monde intertropical, les agricultures doivent faire face à des problèmes majeurs différents. Aussi, les agricultures tropicales se diversifient en fonction de ces grands types de situation par la nature des sols disponibles, par les techniques et systèmes de mise en valeur, par le choix des cultures adaptées : cycle phénologique, caractères physiologiques, tolérance à tel ou tel facteur contraignant (résistance à la sécheresse, tolérance à l'acidité, à la toxicité en aluminium, à la pauvreté native en certains éléments minéraux...). L'amélioration de ces systèmes de culture passe par la connaissance des caractéristiques et des dynamiques de ces grands domaines. La pertinence de telle technique, mise au point ici, n'est pas assurée ailleurs car la nature ou l'intensité des problèmes y est différente.

## A l'échelle régionale

Dans une même région, certains paysages sont favorables au développement de l'agriculture tandis que d'autres présentent des limitations draconiennes. Ainsi, par exemple, en région de savanes sur le socle granito-gneissique, BERTRAND (1990, 1998) a distingué deux grandes familles de paysages morphopédologiques.

La première (figure 5, colonne de gauche) est définie par des altérites épaisses et, par suite, une dynamique générale de l'eau verticale, de percolation en profondeur. Ce sont des milieux globalement stables qui peuvent être aménagés avec des risques modérés de dégradation.

La seconde est caractérisée par des altérites minces (figure 5, colonne de droite). Il en résulte, sous ces climats pluvieux, une dynamique de l'eau latérale marquée par des engorgements saisonniers et des ruissellements importants dès que la couverture végétale naturelle disparaît. La forte instabilité latente de ces paysages est un frein considérable pour l'aménagement et la mise en valeur agricole. Dans la mesure où la pression démographique le permet, ces seconds paysages ne

sont pas ou peu utilisés par les populations locales et restent quasiment déserts alors que les régions voisines sont à la limite de surpopulation. C'est le cas par exemple du nord-ouest de la Côte d'Ivoire (figure 6, zones en grisé) où ces paysages sont presque vides de population alors que dans les zones voisines (celle de Korhogo, par exemple), à paysages à altérites épaisses (figure 6, zones en blanc), le seuil de surpopulation est souvent atteint. Croire que les zones actuellement vides sont des réserves de sols, sans restriction sévère, constituerait une erreur. De même, vouloir comparer des résultats de recherches sur les systèmes de culture obtenus dans l'une et l'autre famille ne pourrait conduire qu'à des errements ; appliquer, sans discernement, à l'une les résultats obtenus dans l'autre exposerait à de cruelles désillusions. Chacun de ces milieux doit être mis en valeur par des systèmes spécifiques, adaptés aux dynamiques particulières qui les caractérisent.

## A l'échelle du terroir

A l'échelle du terroir ou d'un interfluve, l'analyse des toposéquences fait apparaître différentes facettes, ordonnées les unes par rapport aux autres et séparées par des ruptures de pente. Le paysage apparaît donc toujours ordonné par son relief. Ce constat est à la base de la méthode morphopédologique développée par le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France) depuis les années 1970 (BERTRAND *et al.*, 1985). A chaque facette géomorphologique correspond un type de sol ou une association de types de sols (une séquence par exemple). Ces facettes constituent des unités morphopédologiques (figure 7). Chacune d'entre elles est douée de propriétés spécifiques (nature des sols et dynamique). Leur connaissance est essentielle pour comprendre, d'une part, la distribution spatiale des cultures et des systèmes de faire valoir et, d'autre part, la sensibilité plus ou moins grande du milieu vis-à-vis des activités humaines. En effet, ces dernières s'inscrivent dans le paysage physique qui constitue l'ossature du paysage agraire, un relatif

invariant. Elles se répartissent dans l'espace en fonction de ce canevas morphopédologique, calquent leur diversité sur celle du milieu physique. « Les sociétés peu développées [...] sont comme moulées dans leur paysage » (MILLOT *et al.*, 1976).

Ainsi, dans l'exemple présenté (figure 7), le plateau cuirassé de sommet d'interfluve à sols squelettiques peu profonds ne convient, à la rigueur, que pour des systèmes de culture extensifs sans intrants, car les faibles réserves en eau limitent beaucoup les possibilités de croissance des cultures.

A l'opposé, le replat situé en contrebas, par ses sols rouges, profonds, meubles et plus ou moins argileux, par sa topographie plane peu déclive, se prête à la mise en œuvre de systèmes de cultures intensifs. Les contraintes des conservation des sols et des eaux y sont modérées. Dans la région, il constitue le lieu où les intrants seront les mieux valorisés.

Le bas de versant présente aussi des sols profonds, mais jaunes. La dynamique de l'eau y montre une composante latérale liée à des engorgements

saisonniers induits par la faible profondeur du substratum et par l'existence de défauts de perméabilité dans les profils. Les pentes sont plus accusées. Dans ces conditions, l'enracinement reste superficiel et, à la moindre période sans pluie, les cultures souffrent de sécheresse. Par ailleurs, dans ces sols peu pourvus en calcium, le fer sert de ciment entre les particules du sol. Dans les conditions d'engorgement qui prévalent ici, il est partiellement dissout et la stabilité structurale est faible. L'impact des gouttes de pluie a tôt fait de déliter les agrégats et les particules viennent boucher les pores du sol et former des croûtes peu perméables. Il en résulte un grand développement du ruissellement et des risques d'érosion tels que les systèmes de culture, s'il veulent être durables, doivent inclure des pratiques conservatoires contraignantes, tant au point de vue technique qu'économique.

Cet exemple montre, d'une part, la diversité des situations et, d'autre part, qu'il est « possible de définir des aires équiprobématiques, c'est-à-dire des territoires où se posent des problèmes de type défini, subdivisées en fonction

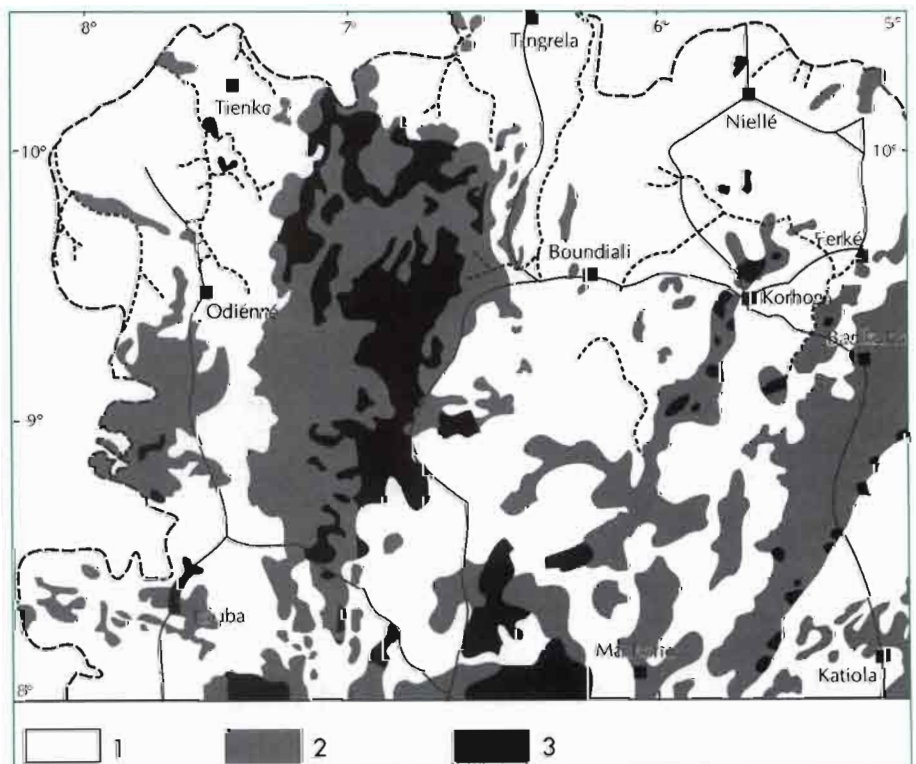


Figure 6. Distribution géographique des paysages à altérites épaisses (1) stables et de paysages à altérites minces (2, 3) à dynamique de l'eau latérale, potentiellement instables dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire.



de l'acuité des problèmes » (TRICART et KILIAN, 1989). Il souligne les interactions entre le milieu naturel et les modes d'exploitation. Compte tenu de l'inégale sensibilité de ces milieux face aux actions humaines, les techniques mises au point dans l'un d'eux ne peuvent être intégralement appliquées dans les autres, soit parce qu'ils ne répondent pas aux problèmes inhérents qui leur sont liés, soit même des risques qu'ils peuvent générer.

Ainsi, l'organisation du paysage agraire se calque sur l'architecture du milieu naturel qui en détermine les traits principaux. Les activités humaines tendent d'abord à s'y adapter en élisant ceux qui sont les plus aisés à utiliser, puis à en modifier certains aspects par des techniques diverses. Il en résulte un infléchissement ou un remplacement des dynamiques existantes. Par exemple, la mise en culture d'une forêt ou d'une savane se traduit par une diminution rapide des teneurs en matières organiques. Il y a un remplacement d'un équilibre dynamique, entre la minéralisation et la biomasse qui s'incorpore au sol, par un déséquilibre régressif lié à la faible production de biomasse. La mise en jachère produit, à terme, l'effet inverse, tout comme les transferts de biomasse par l'intermédiaire des fumiers ou composts.

## Conclusion

Le milieu tropical est divers. Il est structuré à tous les niveaux de perception, de l'échelle continentale à celle du terroir. Les activités rurales s'insèrent dans cette diversité des écosystèmes. Le paysage agraire s'inscrit dans un paysage physique architecturé qui en constitue l'ossature. A toutes les échelles, l'extension spatiale des divers systèmes de culture se calque sur les grandes unités de milieu. Il ne fait pas de doute que la plupart des enquêtes agronomiques gagneraient en efficacité en se fondant sur l'organisation du milieu naturel puisque chaque facette du paysage présente des contraintes restreignant la liberté d'action : les relations de l'homme et des milieux qu'il exploite seraient mieux cernées, mises en cohérence. Parce que c'est de l'homme qu'il s'agit, les enquêtes agricoles sont généralement basées sur la structure sociale, ce que nous proposons c'est de fonder aussi ces enquêtes sur la structure du milieu naturel. Cela aurait au moins l'avantage de pouvoir en restituer les résultats sur des cartes éminemment plus parlantes. De même, l'étude de l'évolution des sols sous culture devrait prendre pour cadre l'organisation du milieu ne serait-ce que pour choisir les milieux

les plus significatifs ou les plus représentatifs, et pour ne comparer que ce qui est comparable.

Cette organisation des sols, les uns par rapport aux autres, va de pair avec des changements très significatifs des dynamiques de fonctionnement (régime hydrologique, par exemple) et des degrés de sensibilité ou de tolérance aux activités agricoles. La mise en culture, tout comme la plupart des interventions agricoles, consiste, volontairement ou non, à infléchir ces dynamiques, à remplacer les écosystèmes naturels par des écosystèmes anthropiques. « La mise en valeur agricole de paysages non ou peu exploités entraîne un bouleversement complet des équilibres naturels » (TRICART, 1962). Si les modes d'exploitation ne sont pas suffisamment adaptés aux facteurs du milieu, alors leur durabilité sera faible, car lutter contre la nature est un combat coûteux, perdu d'avance. Il est plus économe de s'y adapter. Les aménagements du domaine agricole doivent donc être modulés en fonction de ces caractères du milieu ; c'est-à-dire suivant les unités morphopédologiques, qui, à bien des égards, sont des zones équiprobématiques tant sur le plan des caractères de la fertilité et de son maintien que du développement possible de systèmes de culture socio-économiquement viables.

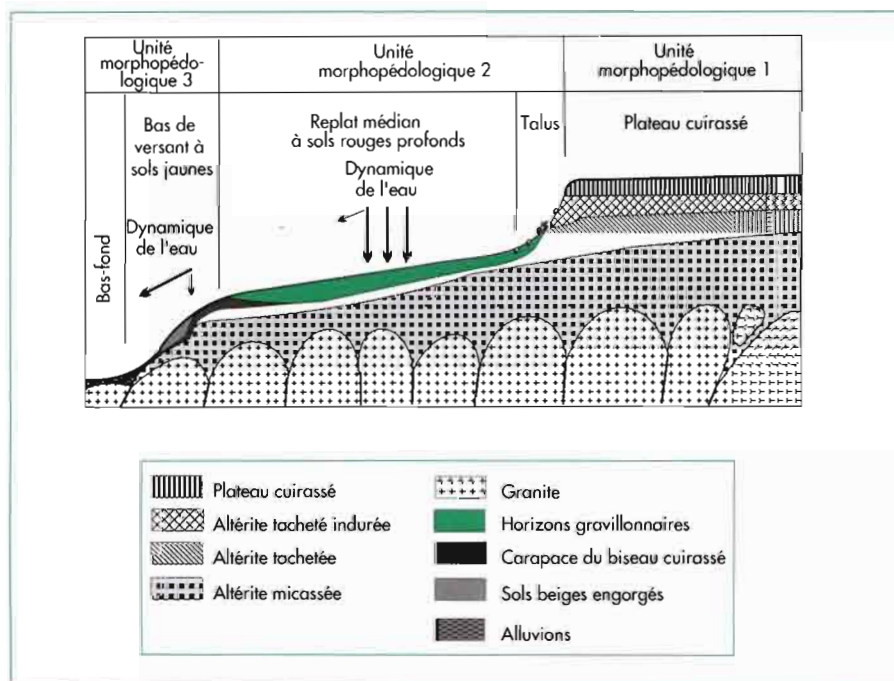


Figure 7. Organisation et dynamique de l'eau dans une toposéquence soudanienne.

## Bibliographie

BEAUDOU A.-G., SAYOL R., 1978. Notice explicative des cartes des segments pédologiques à l'échelle de 1/200 000 et des cartes des paysages morphopédologiques à l'échelle de 1/200 000. Feuilles de Boundiali et de Korhogo, Orstom, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 177 p.

BERTRAND R., KILIAN J., RAUNET M., GUILLOBEZ S., BOURGEON G., 1985. La connaissance des systèmes de paysages naturels un préalable à la protection du milieu. L'approche morphopédologique. Bull. Agron. Gembloux 20 (2-3) : 545-559.

BERTRAND R., 1992. Conditions agro-pédologiques de la production au Sahel. In Le développement agricole au Sahel, Cirad-sar, Montpellier, France, coll. Doc. Syst. Agraires 17 (1) : 15-57.

BERTRAND R., 1990. Organisations morphopédologiques du milieu naturel et recherches agronomiques. In Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales, Irat éditeur, Cirad, Montpellier, France, p 67-74.

BERTRAND R., 1995. Sols et paysages des zones tropicales humides d'Afrique de l'ouest. In

fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Cirad, Montpellier, France, p 69-89.

BERTRAND R., à paraître. Du Sahel à la forêt, paysages morphopédologiques. Collection Repères, Cirad, Montpellier, France, sous presse.

BOULET R., 1978. Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédoclimatique. Mémoires Orstom 85, Orstom, Paris, France, 272 p.

BOCQUIER G., 1971. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Mémoire Orstom 162, Orstom, Paris, France, 350 p.

ESCHENBRENNER V., BADARELLO L., 1978. Etude pédologique de la région d'Odienné (Côte d'Ivoire). Carte des paysages morphopédologiques. Feuille Odienné à 1/200 000, Orstom, Paris, France, 123 p.

GUILLOBEZ S., 1979. Les milieux vertiques du bassin de la Volta blanche dans la région de Bagré (Haute-Volta). L'Agronomie Tropicale 34 (1) : 23-39.

LEPRUN J.-C., 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse - Transformations - Dégradation. Mémoire, université Louis Pasteur, Strasbourg, France, n° 58, 224 p.

LEVEQUE A., 1983. Etude pédologique et des ressources en sols du nord du 10° parallèle en Côte d'Ivoire. Notice explicative 96, Orstom, Paris, France, 126 p.

MILLOT G., BOCQUIER G., PAQUET H., 1976. Géochimie des paysages tropicaux. La Recherche 55 : 236-244.

PEDRO G., 1985. Les grandes tendances des sols mondiaux. Cultivar 184.

PEIREIRA BARETO, 1967. Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal. Feuilles de Tambacouda et Bakel. Rapport Orstom, Dakar, Sénégal, 51 p.

POSS R., 1982. Etude morphopédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire). Cartes des paysages et des unités morphopédologiques. Feuille de Katiola à 1/200 000. Orstom, Paris, France, 142 p.

RAUNET M., 1982. Les principales formations géologiques du continent africain. Carte en couleurs 1/40 000 000. Cirad, Montpellier, France.

SÉGALEN P., 1967. Les sols et la géomorphologie du Cameroun. Cahiers Orstom Pédologie 5 (2) : 137-188.

TRICART J., 1962. L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée. Coll. Evolution des sciences, Masson, Paris, France, 167 p.

TRICART J., KILIAN J., 1979. L'éco-géographie. Coll. Hérodote, Maspéro, Paris, France, 320 p.

VIENNOT M., YORO G., GEORGE M., 1982. Etude morphopédologique de la région de Touba (Côte d'Ivoire). Feuille de Touba à 1/200 000. Notice explicative 98, Orstom, Paris, France, 91 p.

## Résumé... Abstract... Resumen

**BERTRAND R. — L'organisation du milieu physique tropical. Implications sur l'étude et l'aménagement des paysages agraires. Cas de l'Afrique de l'Ouest.**

Du sud du Sahara à la forêt tropicale, se succèdent des paysages caractérisés par des sols, des processus pédogénétiques et des contraintes qui semblent liés aux grandes zones climatiques. Les paysages sahéliens, à interfluvies larges et à pentes faibles, ont des sols très peu perméables, parmi les plus ingrats. L'agriculture y est localisée sur des milieux dunaires, assez favorables mais sensibles à la déflation éolienne. Les paysages soudanais ont des interfluvies moins étendus, avec des sols aux réserves minérales modestes ; l'agriculture est limitée aux espaces non cuirassés et aux terres à cuirasse profonde. La mise en culture se traduit par une baisse rapide du taux de matière organique. Les paysages guinéens forestiers à interfluvies très étroits ont des sols peu épais, pauvres en éléments minéraux, des nappes de gravillons ferrugineux, des knicks. De structure fragile en surface, ces sols deviennent instables à la mise en culture. L'amélioration des systèmes de culture passe par la connaissance des caractéristiques et des dynamiques de ces ensembles. A l'échelle régionale, on distingue deux grands ensembles morphopédologiques : l'un à alterite épaisse (dynamique et percolation de l'eau en profondeur) ; le second à alterites minces (risques d'engorgement saisonnier et ruissellement important après disparition de la couverture végétale, sols peu ou pas utilisés). A l'échelle du terroir, à chaque facette morphopédologique, correspond un type de sol (ou une association de plusieurs types). La connaissance de ces unités est essentielle pour comprendre les modes de mise en culture, d'autant que les traditions rurales s'insèrent parfaitement dans cette diversité.

Mots-clés : pédologie, paysage agraire, agriculture, évaluation des sols, dynamique de l'eau, richesse en éléments minéraux, alterite, interfluve, Afrique de l'Ouest.

**BERTRAND R. — Organizing the tropical physical environment. Implications for the study and development of agrarian landscapes. Example: West Africa.**

In the intertropical zone, from the South Saharan Sahel to the tropical forests, there are landscapes characterized by interfluvies in which the soils, pedogenetic processes and constraints seem to be linked to the major climatic zones. Firstly, there are Sahelian landscapes with very wide, slightly sloping interfluvies which are amongst the worst and barely permeable. In this zone, farming is concentrated on the dunes (sandy soils), which are relatively favourable but subject to wind erosion. The Sudanese landscapes have narrower interfluvies, the soils have relatively low mineral reserves and agriculture is limited to areas without a hardpan or in which the hardpan is very deep down. Cultivating these soils leads to a rapid drop in organic matter contents. The Guinean forest landscapes have very narrow interfluvies with shallow soils poor in minerals, layers of ferruginous gravel and knicks. The upper horizons of these soils are fragile, and they become unstable when cultivated. Improving cropping systems means knowing the characteristics and dynamics of these landscapes. On a regional scale, certain landscapes are propitious to agriculture, and there are two main morphopedological categories in savannah areas: one with a thick alterite layer (dynamic, with deep-down water percolation), the other with shallow alterite layers (risk of seasonal waterlogging and substantial runoff after removal of plant cover); these soils are rarely used, if at all. On a local scale, each morphopedological facet corresponds to a soil type (or combination of different types). It is essential to study these units if we are to understand crop practices. Rural activities fit into this range of ecosystems.

Keywords: pedological landscape, agrarian landscape, agriculture, soil evaluation, water dynamics, mineral element content, alterite, interfluve, West Africa, tropical environment.

**R. BERTRAND — La organización del medio ambiente físico tropical. Implicaciones sobre el estudio y el acondicionamiento de los paisajes agrarios. Caso del África del Oeste.**

A nivel de la zona intertropical, del Sahel sur sahariano hasta la selva tropical, se suceden paisajes caracterizados por interfluvios, cuyos suelos, procesos pedogenéticos y sus limitaciones parecen relacionados con grandes zonas climáticas. Se distingue en primer lugar paisajes sahelianos de interfluvios muy amplios y de declives muy bajos, son entre los más ingratos, muy poco permeables. En esta zona, la agricultura se localiza en medios de dunas (suelos arenosos), bastante favorables pero sensibles a la deflación eólica. Los paisajes sudaneses muestran interfluvios menos extendidos, con suelos de reservas minerales modestas, el sector agrícola se limita a los espacios sin capa gruesa de hierro y con tierras de capa profunda. La puesta en cultivo se expresa en estos suelos por una baja rápida de la tasa de materia orgánica. Los paisajes guineanos forestales de interfluvios muy estrechos muestran suelos poco espesos, pobres de elementos minerales, capas freáticas de gravas ferruginosas, "knicks". De estructura frágil en superficie, estos suelos se vuelven inestables a continuación de su puesta en cultivo. El mejoramiento de los sistemas de cultivo pasa por el conocimiento de las características y dinámicas de estos conjuntos. A nivel regional, se distinguen dos grandes conjuntos morfopedológicos: uno de gruesa alterita (dinámica y percolación del agua en profundidad); el segundo de finas alteritas (riesgos de atascamiento temporal y fuerte arroyada después de desaparición de la cobertura vegetal), estos suelos se utilizan poco. A nivel del terroir, a cada aspecto morfopedológico, corresponde un tipo de suelo (o una asociación de varios tipos). Resulta esencial conocer estas unidades para comprender los modos de puesta en cultivo. Las actividades rurales se insertan en esta diversidad de los ecosistemas.

Palabras-claves: paisaje pedológico, paisaje agrario, agricultura, evaluación de los suelos, dinámica del agua, riqueza de elementos minerales, alterita, interfluvo, África del Oeste, medio ambiente tropical.



En climat soudanien très humide (1 200 à 1 500 millimètres), les altérites sont très épaisses mais les sols sont parfois jaunes et engorgés pendant une partie de la saison des pluies ; cela limite l'enracinement des plantes cultivées et les rend plus vulnérables à la moindre période de sécheresse.  
*R. Bertrand*



En zone de forêt dense, interfluve en demi-orange hypertrophiée. Sol relativement peu épais sur des altérites.  
*R. Bertrand*



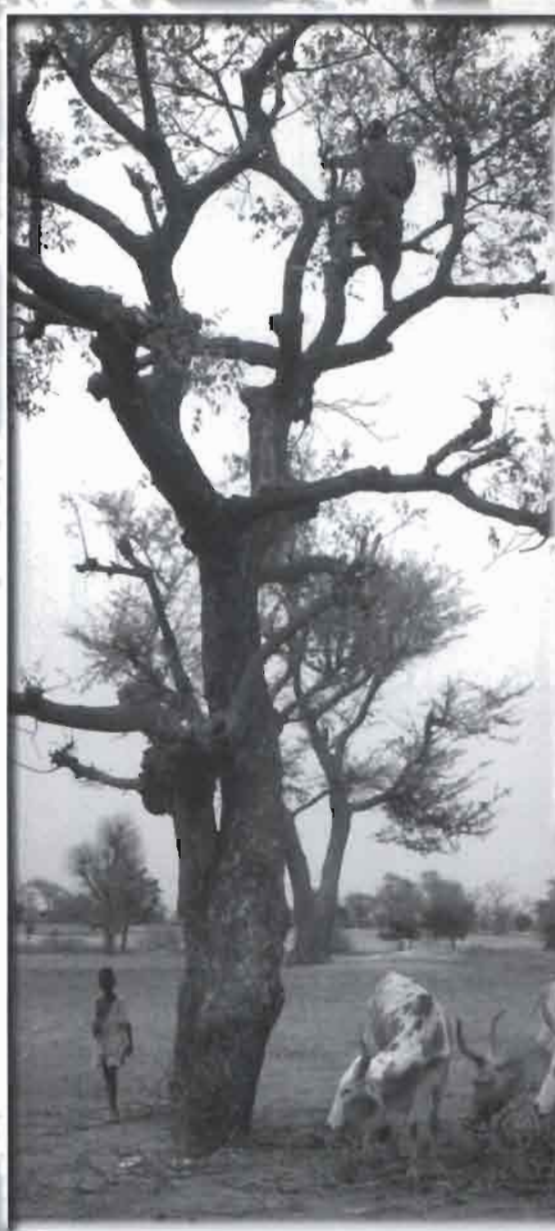
Cuirasse en voie de démantèlement.  
*R. Bertrand*



Végétation d'un plateau cuirassé partiellement démantelé, au Sénégal oriental.  
*R. Bertrand*







Le maintien dans les terroirs d'un élevage bovin producteur de fumure organique nécessite la préservation, voire l'amélioration, des ressources fourragères : ici, émondage d'un cailcédrat (*Khaya senegalensis*) pour l'alimentation des bovins en fin de saison sèche. Sine Saloum, Sénégal.

P. Dugué



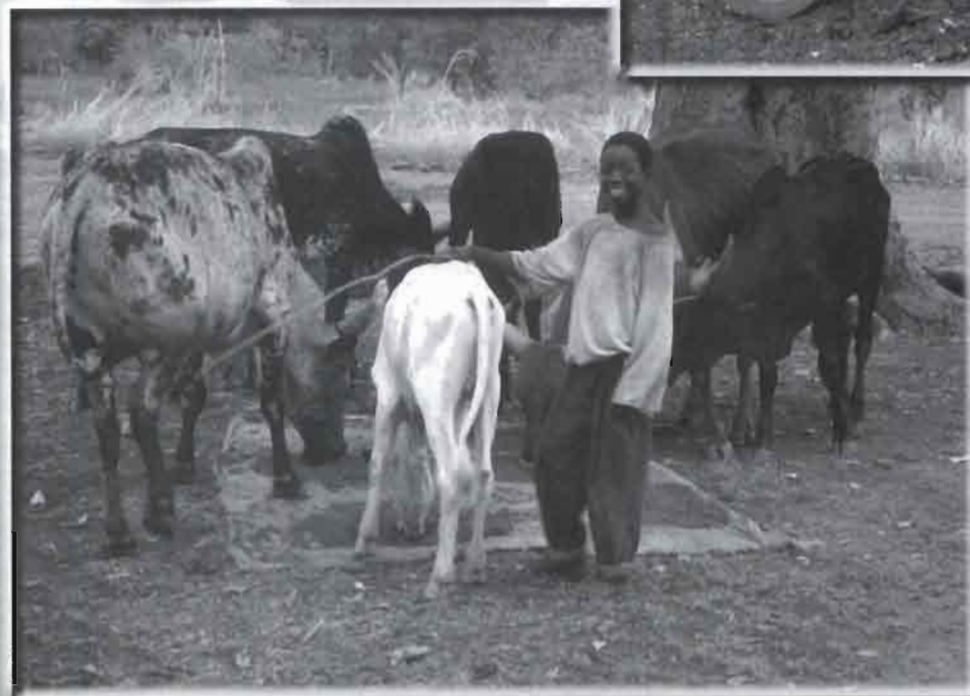
Apport de fumier de ferme au champ facilité par la présence d'une charrette. Zone cotonnière du nord du Cameroun.

P. Dugué



Valorisation traditionnelle des déjections de bovins (la poudrette) : difficultés de transport par manque de charrette. Zone cotonnière du nord du Cameroun.

P. Dugué



Valorisation des sous-produits de transformation des productions agricoles par l'élevage : les drèches de bière traditionnelle de sorgho. Zone cotonnière du nord du Cameroun.

P. Dugué



# Gestion de la fertilité et stratégies paysannes

## Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre

L'agriculture sub-saharienne est passée d'une culture pluviale itinérante, avec de longues périodes de jachère, à la culture continue là où la population est devenue trop dense. Dans le même temps, la monétarisation des systèmes de production s'est accentuée, la cohésion sociale s'est délitée et les économies nationales se sont libéralisées. Outre ces déterminants sociaux, la pluviométrie est un facteur majeur de différenciation des situations agricoles. Fertilisation des cultures et gestion de la fertilité du sol sont largement influencées par ces évolutions : les solutions techniques visant des systèmes agricoles durables ne sauraient être acceptables sans tenir compte de tous ces facteurs.

### L'évolution des systèmes agraires

#### L'accroissement démographique

Historiquement, l'agriculture sub-saharienne des zones de savanes reposait en grande partie sur la culture pluviale itinérante permettant au sol de se reconstituer durant de longues périodes de jachère. Toutefois, dans certaines régions relativement peuplées — 50 à 100 hab/km<sup>2</sup> comme le pays serer au Sénégal, les Monts Mandara au nord du Cameroun, le pays dogon au Mali... — les populations rurales ont su construire des systèmes agraires relativement durables grâce à différentes techniques d'agroforesterie, de lutte contre l'érosion et de fumure organique. Ces systèmes reposaient sur le respect de règles collectives d'utilisation des ressources lié à une

forte cohésion sociale : gestion collective de la jachère et des rotations des cultures, utilisation raisonnée des parcs à *Faidherbia albida*...

Actuellement, lorsque la densité de population rurale dépasse 60 à 80 habitants au kilomètre carré, les paysans sont contraints, faute de terre, de réduire ou d'abandonner la jachère de longue durée et pratiquent la culture continue. Le manque de terre cultivable et leur faible qualité sont les principales causes d'émigration vers des régions moins peuplées (moins de 30 hab/km<sup>2</sup>). Des fronts pionniers se sont ainsi constitués, surtout dans les zones cotonnières, caractérisés par une course à la terre peu propice à une gestion durable des sols.

#### Crises sociales

La monétarisation des systèmes de production s'est accentuée avec l'accroissement des ventes de produits

P. DUGUE

Cirad-tera, BP 5035, 34032 Montpellier  
Cedex 1, France  
Mél : [dugue@cirad.fr](mailto:dugue@cirad.fr)

agricoles et des achats d'intrants, de matériels et de biens de consommation. Elle a entraîné une dépendance des paysans vis-à-vis de l'extérieur, mais aussi une baisse de la cohésion sociale au sein des collectivités rurales et des familles (LE ROY, 1989). Les flux de population vers les villes et vers les fronts pionniers se sont accrus ; ils sont rarement canalisés par les pouvoirs publics, qui n'ont presque plus prise sur l'occupation des espaces encore disponibles pour l'agriculture. Ces facteurs favorisent les stratégies individuelles des producteurs au détriment de règles collectives d'utilisation des ressources naturelles. Dans certains pays, surtout en Afrique centrale, ces crises sociales ont été accentuées par un climat d'insécurité dont les conséquences sont désastreuses pour l'agriculture (racket, vol de bétail, exploitation abusive des ressources ligneuses).

### Les aléas pluviométriques

Outre la densité de population rurale, la pluviométrie constitue un facteur majeur de différenciation des situations agricoles dans la zone de savane. Deux grands ensembles peuvent être ainsi distingués (figure 1) :

- la zone soudanienne (800 à 1 200 mm) relativement peu affectée par les aléas pluviométriques ;
- la zone soudano-sahélienne (400 à 800 mm) qui a connu, ces 30 dernières années, une succession d'années de sécheresse, avec, pour conséquences, d'importants déficits

de production vivrière et l'amplification des flux migratoires.

Dans cette région, l'accroissement démographique et le renforcement des aléas pluviométriques ont aussi affecté les secteurs de l'élevage et de l'approvisionnement en produits ligneux. La consommation de résidus de récolte par l'élevage et comme combustible a fortement progressé, entraînant des exportations massives d'éléments nutritifs et une dégradation superficielle des sols en saison sèche (piétinement du bétail, érosion éolienne).

## Evolution des politiques de développement agricole

Depuis les années 50, les Etats ont souhaité développer des cultures d'exportation (arachide, coton, sésame...) pour améliorer les revenus des paysans et les recettes publiques. Dans le cadre des appuis à ces filières, la recherche a prôné l'intensification des systèmes de culture fondée principalement sur l'emploi des engrais minéraux, des variétés améliorées et de la culture attelée.

Grâce à une politique de soutien aux filières de commercialisation, ces programmes d'intensification ont obtenu des résultats intéressants, même dans la zone soudano-

sahélienne, avec la production d'arachide (Sénégal, Niger). Mais ils se sont dégradés en raison du renforcement de l'aléa pluviométrique depuis les années 80 et de l'arrêt des soutiens à la filière (subvention, crédit agricole...). Dans les zones soudanaises, les filières cotonnières des pays de la zone franc ont permis aux producteurs d'acquérir des intrants et du matériel de culture attelée à crédit et d'améliorer leur technicité pour l'ensemble des cultures. Ces filières connaissent actuellement des évolutions caractérisées par un recentrage de leurs activités vers la production, la transformation et la commercialisation du coton.

La libéralisation des économies se traduit aujourd'hui par un désengagement des Etats pour les fonctions d'approvisionnement en intrants et de crédit, qui devraient être assurées par le secteur privé ou des organismes interprofessionnels. Les services publics recadrent leurs interventions dans l'élaboration et la diffusion des messages techniques par le biais de la recherche agricole, de la formation et de la vulgarisation.

## Les pratiques paysannes de gestion de la fertilité des sols et les recommandations du développement

Dans les années 60, la recherche a proposé des normes de fertilisation minérale régionalisées pour les principales cultures, dans le but d'assurer un niveau de rendement élevé et de compenser les pertes en éléments minéraux contenus dans les productions et les résidus de culture exportés. Le choix d'une fertilisation fondée spécifiquement sur l'engrais minéral s'expliquait par la simplicité du message technique, l'effet rapide sur la production, les possibilités de subvention et, surtout, par les très faibles effectifs de bovins producteurs de fumier présents à cette époque dans les exploitations agricoles.

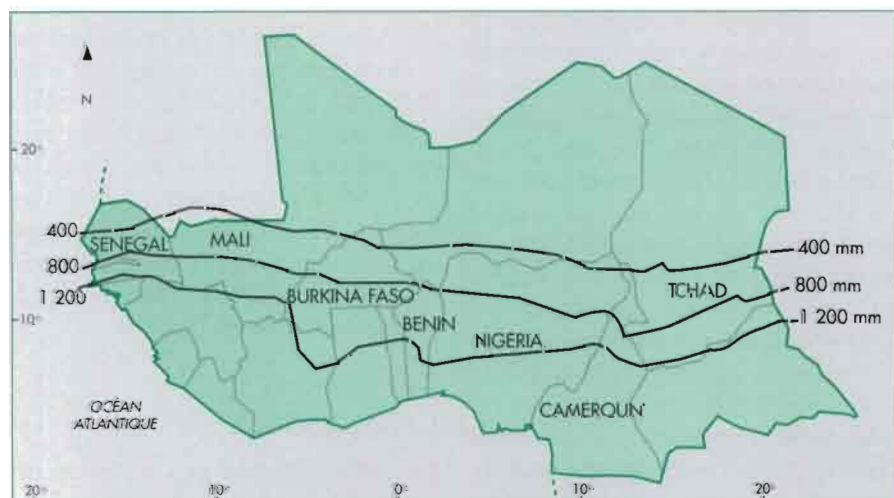


Figure 1. Pluviométrie annuelle en zone de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre.



## La consommation d'engrais en zone soudano-sahélienne

Dans cette région caractérisée par une pluviométrie le plus souvent déficitaire, la consommation en engrais ne s'est jamais vraiment développée (moins de 10 kg/ha), sauf dans certains bassins arachidiers lorsque les services publics pouvaient fournir à crédit cet intrant — environ 40 kg/ha d'engrais pour le mil et l'arachide au Sine Saloum (Sénégal) de 1970 à 1978 (PIERI, 1989).

De nombreux essais réalisés en station et en milieu paysan ont montré la forte interaction entre l'alimentation hydrique des cultures (céréales) et l'efficacité de la fumure minérale et organique. Nous présenterons ici les résultats obtenus dans les années 80, marquées par plusieurs années sèches au Yatenga (Burkina Faso) et au Sine Saloum (tableau 1).

L'emploi de la fumure favorise le développement végétatif des céréales et, par ce biais, la demande en eau durant la phase critique montaison-remplissage du grain. En cas de stress hydrique marqué à la deuxième moitié du cycle, la fertilisation peut avoir un effet défavorable sur le rendement même si, dans tous les cas, la production de paille est favorisée — production très recherchée dans certaines régions (RENARD, 1997). De ce fait, le paysan qui a recours aux engrais prend le risque de ne pas rentabiliser son investissement monétaire. Au Yatenga, la proportion des situations où l'engrais minéral n'était pas rentabilisé variait entre 15 et 48 % pour des essais réalisés en milieu paysan par le projet national engrais et la Fao, entre 1977 et 1985. La fumure organique n'entraîne pas néces-

sairement des gains de rendement importants mais son utilisation peut reposer sur un simple investissement en travail (AFFHOLDER, 1994).

Dans ce contexte de production aléatoire, l'emploi de la fertilisation minérale ne serait envisageable qu'en y associant des systèmes de crédit et d'assurance (PETRE, 1990). De tels mécanismes n'ont jamais été mis en œuvre, car jugés trop coûteux et trop risqués par les distributeurs publics et privés d'engrais.

Outre les aléas climatiques, les paysans doivent faire face à une forte fluctuation des prix de vente de leurs productions. En année à pluviométrie favorable, les prix des céréales et même ceux des oléoprotéagineux peuvent s'effondrer, alors que les surplus commercialisables disponibles pourraient permettre le remboursement d'un crédit à l'engrais. Ainsi, ces fortes baisses de prix peuvent compromettre la rentabilité d'un investissement ou la viabilité d'un système d'assurance contre les risques de sécheresse.

Le risque acridien est loin d'être négligeable : destruction des jeunes pousses de céréales, obligeant à des ressemis successifs, et baisse de rendement. Les méthodes de lutte des paysans et des services publics sont le plus souvent dérisoires par rapport au niveau d'infestation. Dans ce cas, l'investissement en engrais ne peut pas être rentabilisé.

## La consommation d'engrais en zone soudanienne

La culture cotonnière absorbe environ 70 % des importations d'engrais (N-P-K et urée), les 30 % restants concernent le maïs et les cultures

maraîchères (MAHDAVI, 1991). L'approvisionnement est réalisé par les sociétés cotonnières ; les ventes par le secteur privé sont très limitées. La pluviométrie étant globalement favorable à l'agriculture, les paysans n'emploient pratiquement pas d'engrais sur les légumineuses et le sorgho. Pour le cotonnier et partiellement pour le maïs, les sociétés cotonnières fournissent les intrants à crédit (engrais, insecticides, herbicides).

Bien que les prix du coton et des intrants soient fixés en début de campagne agricole, les paysans doivent faire face à des fortes fluctuations des prix des autres cultures mais aussi du rapport prix engrais/prix du coton (figure 2). Face à ces incertitudes économiques, les paysans ont opté pour une réduction des charges par hectare, ce qui correspond à une dilution des intrants. Les doses moyennes utilisées sur cotonnier et maïs sont inférieures à celles recommandées par les structures de développement (tableau 2). Pour le cotonnier, les statistiques régionales masquent une large gamme de pratiques de fertilisation. Selon les situations, les paysans apportent plus ou moins d'engrais minéral en fonction de la date de semis, du niveau de fertilité du sol, ou ils peuvent compléter cette fertilisation avec de la fumure organique.

Par ailleurs, les risques d'échec d'une culture, et donc de non rentabilité de l'engrais, ne sont pas négligeables et permettent ainsi d'expliquer le choix d'une utilisation modérée de ce type de fumure par la plupart des producteurs. Les aléas pluviométriques touchent surtout le début de la saison des pluies et peuvent entraîner des ressemis ou un retard de semis préjudiciables aux rendements. Durant les mois les

Tableau 1. Gains de rendement, en kg/ha, obtenus par l'emploi de fumure sur mil selon les conditions d'alimentation hydrique de la culture (d'après DUGUE, 1989 et 1996).

Condition d'alimentation hydrique	Défavorable	Médiocre	Moyenne	Favorable
<b>Yatenga, Burkina Faso, 300-550 mm</b>				
– engrais N-P-K (14-23-14) 100 kg/ha	0	150	300	500-600
– poudrette 5 t/ha	0	-	250	400-600
<b>Sine Saloum, Sénégal, 380-650 mm</b>				
– engrais N-P-K (21-11-11) 100 kg/ha	-	320	440	700
– poudrette 5t/ha	-	140	230	230

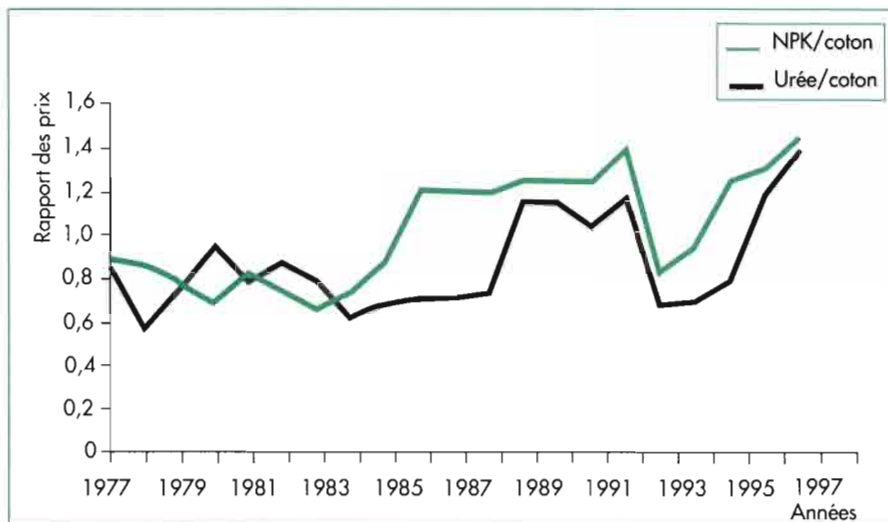


Figure 2. Evolution du rapport prix des engrais / prix du coton graine. Cameroun de 1977 à 1997 (source : rapports Sodécoton).

plus pluvieux (juillet et août), les paysans ont plutôt à craindre les inondations ou un enherbement excessif. Les risques de pullulation d'insectes ou de maladies ne sont pas à négliger. Enfin, des pluies tardives en novembre ne sont pas à écarter et peuvent provoquer une perte de récolte importante. Ces événements sont difficilement prévisibles et le paysan, si ses réserves en terre le permettent, privilégiera un accroissement des surfaces emblavées au détriment

de l'intensification des systèmes de cultures (DUGUE et DOUNIAS, 1997).

### Evolution de la fertilité des sols cultivés

Dans la majorité des situations de la zone de savanes, la jachère de longue durée n'est plus envisageable. L'entretien de la fertilité du sol repose essentiellement sur les apports de fumure

minérale et organique et sur la limitation des pertes en éléments nutritifs dues à l'érosion et au drainage. L'établissement de bilans minéraux et organiques au niveau de l'exploitation agricole ou du terroir cultivé donne une indication sur l'évolution de la fertilité du sol. Ces méthodes de bilan ont été, pour l'instant, largement utilisées dans le cadre d'expérimentation en milieu contrôlé pour évaluer l'impact de techniques culturales et de la fertilisation sur la fertilité du sol (PIERI, 1989). En milieu paysan, ces bilans sont plus difficiles à établir mais ils prennent en compte les prélèvements des résidus de récolte et d'adventices par les populations et les troupeaux et les apports de fumures animales. Des travaux récents montrent que les bilans minéraux des systèmes de culture sont déséquilibrés, malgré l'utilisation à grande échelle des engrais minéraux sur cotonnier et maïs et le développement de l'utilisation de la fumure animale (tableau 3).

Ces déséquilibres s'accroissent actuellement du fait de la diminution des surfaces en jachère (même de courte durée), de la réduction des doses d'engrais sur cotonnier et sur maïs et surtout de l'augmentation des prélè-

## Pratiques paysannes de fertilisation minérale du cotonnier

Le cotonnier est généralement fertilisé avec un apport d'engrais complet et d'urée ; les doses utilisées sont très variables à l'échelle d'une région ou même d'une exploitation. Deux raisons expliquent le fait que les doses moyennes d'engrais appliquées sont inférieures à celles recommandées. Les paysans reçoivent une quantité fonction de la superficie qu'ils ont déclaré vouloir faire, mais les superficies réellement semées dépassent souvent les prévisions. Une partie de l'engrais livré pour le coton est détournée vers les céréales ou la culture d'oignon.

Les paysans déterminent la dose d'engrais pour chaque parcelle de cotonnier en fonction de trois facteurs (LENDRES, 1992 ; SIGRIST, 1992 ; COLNARD, 1995) :

- la fertilité du sol. Un cotonnier cultivé sur un sol fertile reçoit moins d'engrais que celui installé sur un sol en voie

d'épuisement. Sur un terrain très dégradé, l'agriculteur renonce à cultiver du coton, ou il le fait sans engrais, sachant que l'efficacité de la fumure sera médiocre ;

- la date de semis. Un coton semé tardivement, entre le 20 juin et le 10 juillet, peut recevoir plus d'engrais qu'un cotonnier semé tôt, car le paysan estime que la culture rattrape le retard pris au départ. Mais, pour des semis très tardifs, après le 10 juillet, il n'apporte plus qu'une faible dose car l'espérance de rendement est alors réduite ;

- la probabilité que la culture échoue. Si le risque d'inondation ou de destruction par le bétail divagant est élevé ou, plus simplement, si la culture a été mise en place dans de mauvaises conditions (sol très enherbé), l'agriculteur choisit d'apporter une dose limitée d'engrais.

Ces règles sont assez fréquentes mais non généralisables. Elles visent à valoriser au

mieux une quantité limitée d'engrais et le potentiel productif du sol (figures 3 et 4).

Au lieu de favoriser les parcelles à potentiel de production élevé en leur appliquant de fortes doses d'engrais, les agriculteurs optent plutôt pour l'obtention d'un rendement moyen sur l'ensemble des parcelles et une dilution des intrants. Toutefois, en cas d'échec (mauvaise levée, faible développement des plantes), des techniques d'ajustement existent, comme l'association du niébé au cotonnier. On pourrait exposer un raisonnement similaire pour la culture de maïs. Dans tous les cas, le paysan essaie d'obtenir un maximum de production de ses parcelles en prenant le moins de risque possible. Ces règles de gestion de la fertilisation des cultures sont donc complexes et peuvent évidemment évoluer en fonction de la disponibilité en terre et en main-d'œuvre de l'agriculteur.



Tableau 2. Quelques caractéristiques de la fertilisation du cotonnier (N-P-K + urée) observées en milieu paysan, en kg/ha.

	Bénin <sup>(1)</sup>	Burkina Faso <sup>(2)</sup>	Cameroun <sup>(3)</sup>	Mali <sup>(4)</sup>
Recommandations des sociétés cotonnières	200	200	100 ou 200 en zone sèche 250 en zone plus humide	200
Quantités moyennes utilisées	136	167	118 en zone sèche 170 en zone plus humide	159
Apport complémentaire de fumure organique	marginal, moins de 5 % des parcelles	négligeable	en progression, moins de 5 % des parcelles	fréquent, 25-30 % des parcelles

Sources : (1) COLNARD, 1995 ; (2) LENDRES, 1992 ; (3) SIGRIST, 1992 ; (4) GIRAUDY 1993 et 1995.

Tableau 3. Estimation des bilans minéraux en zone cotonnière, en kg/ha.

Situations et sources	Niveau d'analyse	N	P	K
Mali sud, zone cotonnière (VAN DER POL, 1991)	zone cotonnière	- 25	0	- 20
Mali sud, cercle de Koutiala (CAMARA, 1996)	255 exploitations agricoles	- 38	- 4	non évalué
Nord Cameroun, région de Guider (DUGUE, 1998)	zone cultivée du terroir de Héri	- 12	- 4	- 11

vements de résidus de culture. Le même constat pourrait être fait dans la zone soudano-sahélienne : les exportations minérales dues aux récoltes sont moindres mais les apports de fumure minérale sont négligeables. Dans le contexte économique actuel, il est peu probable que les paysans augmentent leur consommation d'engrais minéral. Sans perdre l'intérêt des acquis disponibles pour ce type de fertilisation, il semble raisonnable de mettre un accent particulier sur un ensemble de solutions techniques permettant d'entretenir la fertilité des sols cultivés : fumure animale, recyclage de la biomasse végétale (paillis, fabrication de compost et de fumier), agroforesterie et contrôle de l'érosion hydrique.

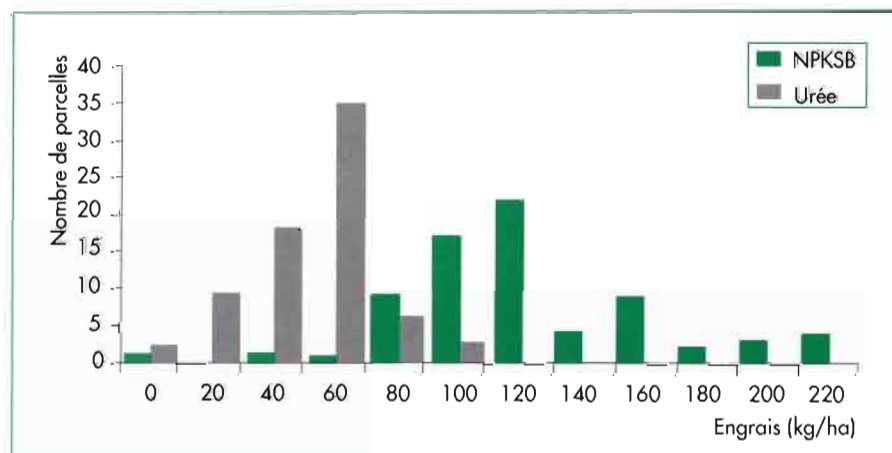


Figure 3. Variabilité des doses de fumure minérale sur cotonnier au Cameroun. Suivi de 73 parcelles dans 25 exploitations agricoles (1996).

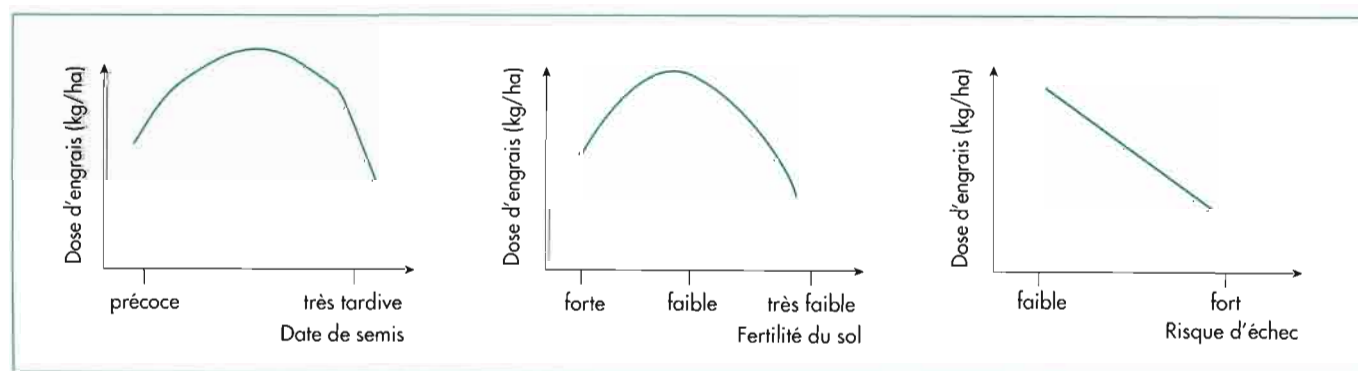


Figure 4. Ajustement de la dose d'engrais sur cotonnier par les paysans.

## Les autres pratiques de fertilisation et d'entretien de la fertilité des sols

La plupart des agriculteurs disposent d'une quantité limitée de fumure, bien en deçà de celle qu'il serait souhaitable d'apporter. Ils essaient de s'adapter à la baisse de la fertilité du sol en valorisant les ressources locales de fumure (poudrette, ordures) et en diversifiant leurs systèmes de culture (mise en valeur des bas-fonds). Dans le même temps, ils doivent faire face à d'autres contraintes majeures à la production : les stress hydriques en zone soudano-sahélienne et l'enherbement excessif lié à l'abandon de la jachère en zone soudanienne.

### Limitier le ruissellement et l'érosion

Dans les régions soudano-sahéliennes, caractérisées par une pluviométrie souvent déficitaire et des pertes en eau par ruissellement importantes, les paysans ont largement adopté les techniques de conservation des eaux et des sols (Yatenga et plateau central au Burkina Faso, région de Kayes au Mali, vallée de Keita au Niger). Leur objectif principal est de sécuriser l'alimentation en eau des cultures. A ces dispositifs anti-érosifs, est associée de plus en plus souvent la fumure organique, et plus rarement le paillage de surface, pratiques qui améliorent la structure et la fertilité chimique du sol en surface. L'extension de ces pratiques à l'ensemble des zones de savanes touchées par l'érosion hydrique est à encourager.

### Modifier les assolements et développer les associations de culture

Les paysans s'adaptent à la baisse de fertilité du sol en modifiant leur assolement. En zone cotonnière, ils privilégient les cultures peu exigeantes comme l'arachide et le sorgho sur les

terrains peu fertiles. Les associations de culture sont aussi plus fréquentes. Le niébé valorise la lumière, les ressources en eau et en éléments minéraux plus facilement disponibles sous un couvert peu développé de céréales. Les variétés rampantes de niébé couvrent rapidement le sol et limitent l'enherbement et l'émergence de *Striga hermontica*. Lorsque le paysan considère que le contrôle de l'enherbement devient difficile et trop coûteux en temps (en cas de prolifération de *Commelina benghalensis* par exemple) il peut avoir recours exceptionnellement à la jachère de courte durée (2 ans) qui réduira le degré de salissement de sa parcelle.

### Valoriser la fumure organique

L'utilisation massive de la fumure animale par les agro-éleveurs est observée lorsqu'ils ne peuvent plus augmenter leur surface cultivée. Malgré l'accroissement des effectifs d'animaux d'élevage dans les exploitations agricoles, les disponibilités en fumure animale traditionnelle (poudrette) ne permettent de fertiliser que 7 %, voire au mieux 15 %, de l'espace cultivé chaque année (DUGUE, 1996). L'éloignement des parcelles et le manque de matériels de transport amènent les paysans à apporter la fumure organique toujours sur les mêmes parcelles proches des enclos des bovins et des petits ruminants. Le potentiel organique est mal valorisé, les pertes sont encore élevées et des progrès sont envisageables. Un accent particulier doit être mis sur le recyclage du reliquat de biomasse végétale non consommé par le bétail, en fumier et en compost. Ce reliquat est actuellement brûlé (DUGUE, 1998). La qualité de ces fumures organiques pourrait être améliorée en y adjoignant du phosphate naturel tricalcique produit localement — Sénégal, Mali, Burkina Faso (MONTANGE *et al.*, 1998).

### Développer les parcs arborés

Afin de valoriser la production de bois, de fourrage et surtout de fruits de certains arbres, les paysans ont

choisi de les conserver dans les zones de culture et ont ainsi constitué des parcs arborés à base de *Faidherbia albida*, *Buthyrospermum parkii*, *Prosopis africana*, etc. Aujourd'hui et dans bien des situations, les parcs arborés sont en régression du fait d'une augmentation des prélèvements de produits utiles et de la mécanisation des opérations culturales qui détruit une partie des jeunes pousses d'arbres. Dans quelques situations, on note toutefois une extension spontanée du parc arboré à base de *Faidherbia albida* comme au Nord-Cameroun ou dans les régions où des projets de développement ont encouragé la protection des jeunes arbres (région de Dosso au Niger) (PELTIER, 1996). Si les paysans reconnaissent l'intérêt des parcs arborés traditionnels, ils n'ont jamais adopté la technique de culture en couloirs associant cultures et lignes d'arbres dont les émondes apportent de la matière organique au sol. Cette technique semble plutôt adaptée aux zones plus humides.

### Les plantes de couverture et les jachères améliorées

L'utilisation de légumineuses fixatrices d'azote couvrant le sol en saison des pluies comme en saison sèche réduit l'érosion hydrique, favorise l'activité biologique des sols et fournit des quantités importantes de matière organique et d'éléments minéraux dans l'horizon de surface. Ces légumineuses peuvent être utilisées comme plante de couverture entre deux cycles culturaux ou en culture pure comme jachère de courte durée (2-3 ans). Ces innovations, largement développées dans les systèmes de culture manuelle d'Amérique centrale et dans les systèmes de culture mécanisée au Brésil, sont encore au stade d'expérimentation ou de pré vulgarisation en Afrique sub-saharienne (GRIFFON, 1997 ; AZONTONDE *et al.*, 1998). D'un point de vue agronomique, elles semblent prometteuses, mais il ne faut pas négliger les contraintes à leur adoption : la destruction de la biomasse en saison sèche par les feux de brousse et sa consommation par le



bétail divagant. L'amélioration des jachères peut aussi être envisagée par la plantation de légumineuses arborescentes (HARMAND et NJITI, 1998).

## Pour une approche globale des problèmes de gestion de la fertilité du sol

### Des techniques complémentaires

Actuellement, les structures de développement et les paysans attachent de plus en plus d'importance à l'aménagement des terroirs et à la lutte contre l'érosion, considérés comme un préalable au développement d'une agriculture durable. Par ailleurs, le manque de trésorerie pour l'achat des engrais, les faibles disponibilités en fumure animale et la nécessité de pratiquer la vaine pâture en saison sèche impliquent de développer différentes pratiques de gestion de la fertilité du sol au sein de l'exploitation et du terroir.

La gestion de la fertilité du sol fondée uniquement sur la fertilisation minérale peut entraîner une acidification des sols, en l'absence de chaulage, une baisse rapide du taux de matière organique, voire une toxicité aluminique (PIERI, 1989). L'entretien du statut organique des sols constitue un élément majeur de la durabilité des systèmes de production. Pour cela, les exploitations agricoles doivent augmenter leur production de biomasse (résidus de culture, cultures fourragères) ainsi que l'élevage, de façon à accroître le recyclage de cette biomasse et la fabrication de fumure organique. Des méthodes complémentaires de gestion des sols n'ayant pas recours à l'élevage peuvent être aussi développées sur certaines parties du terroir ou de l'exploitation : parcs arborés, paillis, jachère améliorée dans les zones où la pression foncière est moindre.

### Les contraintes à leur adoption

Pour mettre en œuvre ces méthodes complémentaires, les agriculteurs et les éleveurs doivent modifier leurs pratiques de conduite des troupeaux en saison sèche et mettre au point de nouvelles règles de gestion collective de l'espace. L'autre contrainte majeure est l'accroissement de la charge en travail durant la saison sèche, au moins dans un premier temps : gardiennage rapproché du bétail, mise en place des aménagements anti-érosifs, protection des jeunes arbres, fabrication de la fumure organique, enclosure de certaines parcelles, lutte contre les feux. Les paysans hésitent très souvent à mobiliser cette quantité de travail supplémentaire parce que l'impact de la plupart de ces innovations ne se fait sentir qu'après plusieurs années. Par ailleurs, la rentabilité économique de ces investissements, ainsi que de la fumure minérale, dépend de la garantie de vendre les productions à des prix rémunérateurs et à l'abri de trop fortes fluctuations.

### Des appuis aux producteurs, différenciés selon les régions

Ces propositions techniques concernent les systèmes de production des régions où les réserves en terre sont très limitées. C'est dans ces situations caractérisées par des systèmes de culture continue que les paysans ont le plus de mal à faire face à la baisse de fertilité des sols. Ces situations sont donc prioritaires, d'autant plus qu'elles rassemblent la grande majorité de la population rurale. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que des espaces peu peuplés existent encore, mais accueillent de plus en plus de paysans migrants. Dans ce cas, les populations rurales (autochtones et allochtones) doivent mieux se concerter pour déterminer des règles d'utilisation des terres pour maintenir la fertilité du sol à moindre coût et, en particulier, préserver la pratique de la jachère.

Ces différentes solutions de gestion doivent être largement développées. Mais le recours à la fumure minérale ne doit pas être abandonné, en parti-

culier face à la carence des sols en phosphore. Du fait du désengagement des Etats et des évolutions à venir des filières cotonnières (privatisation, restructuration), des mécanismes d'appui au secteur privé et aux organisations paysannes doivent être mis en place pour accroître la consommation en engrais dans ces régions.

Les mécanismes d'intervention doivent se différencier selon les spécificités de chaque région — importance de l'élevage, érosion hydrique plus ou moins marquée. Très schématiquement, en zone soudano-sahélienne, l'accent est mis sur l'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures, le développement des parcs arborés et l'intensification des systèmes de culture de bas-fond. En zone soudanienne, à pluviométrie plus favorable, les marges de progrès sont plus importantes du fait de la possibilité d'accroître l'utilisation des engrais et la production de biomasse fourragère ou recyclable directement en fumure organique.

## Bibliographie

AFFHOLDER F., 1994. Influence de la fertilisation et du contrôle de l'enherbement sur la réponse des rendements du mil pluvial à un indice hydrique synthétique. In Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale, Ed. J.L. Eurotext, Paris, France, p. 191-204.

AZONTONDE A. H., FELLER C., GANRY F., REMY J.-C., 1998. Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. Agriculture et développement 18 : 55-62.

CAMARA O., 1996. Utilisation des résidus de récolte et du fumier dans le cercle de Koutiala : bilan des éléments nutritifs et analyse économique. Thèse de doctorat, université de Wageningen, Pays-Bas ; rapport projet PSS 18 IER-ABL-DLO, 112 p.

COLNARD C., 1995. Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Bénin. Mémoire, Ensh, Cirad, Montpellier, France, 122 p.

DUGUE P., 1989. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso). Document systèmes agraires 9. Cirad, Montpellier, France.

DUGUE P., 1996. Le recyclage des résidus de récolte en vue d'accroître l'utilisation de la fumure organique. Le cas du Sine Saloum (Sénégal). Document Cirad-sar 96/96, Cirad, Montpellier, France, 28 p.

DUGUE P., DOUNIAS I., 1997. Intensification, choix techniques et stratégies paysannes en zone cotonnière du Cameroun. In Succès et limites des révolutions vertes, actes du séminaire 6 septembre 1995, Montpellier, France, GRIFFON M. (éditeur). Cirad, Montpellier, France, p. 93-106.

DUGUE P., 1998. Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs. Etude de cas au Nord Cameroun et essai de généralisation aux zones de savane. Doc. Cirad-tera 29/98, Cirad, Montpellier, France, 68 p.

GIRAUDY F., 1993. La culture du coton dans la zone Mali-Sud. Doc. Multigraphié, cellule suivi-évaluation Cmdt, Bamako, Mali, 18 p.

GRIFFON M. (éditeur), 1997. Succès et limites des révolutions vertes. Actes du séminaire, 6 septembre 1995, Montpellier, France. Cirad, Montpellier, France.

HARMAND J.-M., NJITI C. F., 1998. Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol

ferrugineux et sur la production céréalière. Agriculture et développement 18 : 21-29

LENDRES P., 1992. Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Burkina Faso. Mémoire, Cnearc, Cirad, Montpellier, France, 80 p.

LE ROY X., 1989. Fragilisation des systèmes de production par l'introduction de cultures de rapport, Nord Côte d'Ivoire. In Le risque en agriculture, Ed. Orstom, Paris, France, p. 453-462.

MAHDAVI G., 1991. Les conditions d'une généralisation de l'utilisation des engrais. Le point de vue d'un opérateur du développement agricole. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 465-470.

PELTIER R. (éditeur), 1996. Les parcs à *Faidherbia albida*. Cahiers scientifiques 12. Cirad-forêt, Montpellier, France, 312 p.

PETRE P., 1990. Une tentative de développement agricole dans le bassin arachidier sénégalais. Notes et études 37, CFD, Paris, France.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Agridoc-International, Paris, France. Cirad, Montpellier, France, 444 p.

RENARD C. (Ed.), 1997. Crop residues in sustainable mixed crop/livestock farming system. CAB International Oxon, Grande Bretagne, 322 p.

SIGRIST J.-C., 1992. Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Nord-Cameroun. Mémoire, Istom, Paris, France, 111 p.

VAN DER POL F., 1991. L'épuisement des terres, une source de revenu pour les paysans au Mali-Sud. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 403-418.

## Résumé... Abstract... Resumen

P. DUGUE — **Gestion de la fertilité et stratégies paysannes. Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre.**

L'accroissement démographique constitue le facteur principal de l'agriculture des zones de savanes d'Afrique subsaharienne. La rarefaction des terres cultivables entraîne dans bien des cas l'abandon de la jachère de longue durée. Les politiques agricoles dans ces régions ont eu pour objectifs le développement des cultures d'exportation (coton, arachide,...) et l'intensification des systèmes de culture grâce à l'organisation d'appuis aux filières et aux producteurs (intrants subventionnés, crédit agricole, vulgarisation de masse). Aujourd'hui les Etats remettent en question ces politiques d'intervention en milieu rural. Une analyse de diverses études des pratiques paysannes de fertilisation des cultures a permis de mettre en évidence les fortes contraintes à l'utilisation des engrais minéraux en zone soudano-sahélienne. En zone soudanienne, l'utilisation des engrais reste importante dans les régions où les sociétés cotonnières assurent l'approvisionnement à crédit. D'autres pratiques d'entretien de la fertilité des sols sont donc à promouvoir : dispositifs anti-érosifs pour limiter le ruissellement et l'érosion ; modification des assolements et associations culturales ; valorisation de la fumure organique ; parcs arborés, plantes de couverture et jachères améliorées de courte durée. Une approche globale des problèmes de gestion de la fertilité du sol est proposée : association de techniques complémentaires, identification des contraintes à l'adoption des techniques ; proposition d'appuis aux producteurs, différenciés selon les régions.

Mots-clés : fertilité, fertilisation, technique culturale, conseil technique, société rurale, marché, zone tropicale.

P. DUGUE — **Soil fertility management and smallholder strategies. Example: savannah zones in West and Central Africa.**

Population growth is the main factor affecting agriculture in the savannah zones of sub-Saharan Africa. The increasing scarcity of plantable land often leads farmers to abandon long-term fallow. Agricultural policies in these regions have been aimed at developing export crops (cotton, groundnut, etc.) and intensifying farming systems by organizing support for different crops and farmers (subsidized inputs, agricultural credit, mass extension). The countries concerned are beginning to question the wisdom of these intervention policies in rural environments. An analysis of various studies of smallholder crop fertilization practices revealed strong constraints on the use of mineral fertilizers in the Sudan-Saharan zone. In the Sudanese zone, fertilizer use is high in regions where cotton companies provide supplies on credit. Other ways of maintaining soil fertility therefore need to be promoted: anti-erosion measures to limit runoff and erosion; modification of rotation and intercropping systems; use of organic fertilizers; arboreal parks, cover crops and short-term improved fallow. An overall approach to soil fertility management problems is proposed: combining complementary techniques, identifying constraints on the adoption of such techniques, offering producers different types of support depending on the region.

Keywords: fertility, fertilization, crop technique, economy, technical advice, rural society, market, tropical zone.

P. DUGUE — **Manejo de la fertilidad y estrategias campesinas. El caso de las zonas de sabanas de Africa del Oeste y del Centro.**

El incremento demográfico es el factor principal de evolución de la agricultura de las zonas de sabanas de Africa subsahariana. La rarefacción de las tierras cultivables lleva en muchos casos a abandonar el barbecho de larga duración. Las políticas agrícolas en estas regiones tuvieron por objetivo desarrollar cultivos de exportación (algodón, maní...) e intensificar sistemas de cultivo gracias a la organización de apoyos a los sectores y a los productores (insumos subvencionados, crédito agrícola, divulgación de masa). Hoy en día, los Estados ponen en tela de juicio estas políticas de intervención en zonas rurales. Un análisis de varios estudios de las prácticas campesinas de fertilización de los cultivos ha permitido evidenciar las fuertes limitaciones para utilizar los abonos minerales en zona sudano-saheliana. En zona sudanesa, la utilización de abonos sigue siendo importante en las regiones donde las empresas algodoneras aseguran su abastecimiento a plazos. Por lo tanto, se tienen que prevenir otras prácticas de mantenimiento de la fertilidad de los suelos: dispositivos anti-erosivos para limitar la arroyada y la erosión; modificación de las rotaciones de cultivos y asociaciones de cultivos; valorización del abono orgánico; parques con árboles, plantas de cobertura y barbechos mejorados de corta duración. Se propone un enfoque global de los problemas de manejo de la fertilidad del suelo: asociación de técnicas complementarias, identificación de las limitaciones para la adaptación de técnicas; propuesta de apoyos a los productores, diferenciados acorde a las regiones.

Palabras-claves: fertilidad, fertilización, técnica de cultivo, economía, consejo técnico, sociedad rural, mercado, zona tropical.



# Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière

Sur les sols ferrugineux tropicaux, les travaux agronomiques ont montré que la seule fertilisation minérale ne permet pas, à long terme, le maintien ou l'augmentation des rendements à cause de la baisse du stock de matière organique de ses sols et de la dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui y sont liées (PIERI, 1989).

Le recours à des voies biologiques pour gérer durablement la fertilité des terres de savane semble une nécessité. Les jachères agroforestières peuvent raccourcir le temps de jachère naturelle : les effets attendus sont d'une part la restauration de la fertilité, en agissant sur l'ensemble des cycles biogéochimiques, et d'autre part une production de bois ou d'un autre produit, comme la gomme arabique.

**E**n zone de savane d'Afrique subsaharienne, la jachère fait partie des pratiques agricoles traditionnelles, mais sa place dans les systèmes agraires est aujourd'hui fortement remise en question. L'augmentation de la pression sur les ressources fait qu'elle est souvent surexploitée et sa durée se raccourcit, si bien que son efficacité dans la restauration de la fertilité des sols s'en trouve réduite. Néanmoins, si le recours à la jachère longue diminue de plus en plus, il subsiste toujours des étendues dégradées qu'il faut gérer au mieux.

Les effets des jachères naturelles sur les propriétés chimiques des sols ont été étudiés depuis de nombreuses années. D'après différents auteurs (GREENLAND et NYE, 1959 ; MOREL et QUANTIN, 1964 ; JAIEYEOBA, 1988 ; FELLER *et al.*, 1993), les effets sont lents et on ne peut espérer augmenter notablement les stocks organiques des sols que par des jachères de plus de 5 ans, voire 7-8 ans. Les recherches sur ces effets sont loin d'être achevées et surtout nuancées en fonction des situations et des types de jachère (OUATTARA *et al.*, 1997). Dans de jeunes jachères, de faibles variations du stock organique du sol pourraient avoir une influence sur les processus rapides du sol comme les cycles de minéralisation et d'immobilisation de l'azote, les transferts de nutriments vers des formes assimilables ou l'organisation des constituants du sol (FELLER *et al.*, 1993). Enfin, très peu de travaux sont décrits sur les effets de jeunes plantations forestières à base d'espèces à croissance rapide. Un certain nombre de questions se pose quant à la capacité de ces plantations d'accélérer les processus de restauration de la fertilité des sols :

- en quelques années, une espèce ligneuse fixatrice d'azote peut-elle améliorer notablement le comportement de la culture suivante ?
- la simple protection de la terre contre le feu et le pâturage n'est-elle pas aussi efficace que la plantation d'arbres ?
- l'exploitation de la jachère pour le bois ne peut-elle pas nuire à la restauration de la fertilité ?

J.-M. HARMAND

Cirad-Forêt, Irad, BP 222, Maroua, Cameroun

C. F. NJITI

Irad, BP 415, Garoua, Cameroun

## Contexte et objectifs de l'étude

Dans la région de Garoua au Cameroun, les populations immigrantes, venant de zones sahéliennes plus peuplées, défrichent la savane arborée et développent un système de culture à base de cotonnier et céréales. En moins d'une dizaine d'années, sur ces terrains ferrugineux sableux, des signes de fatigue des sols apparaissent, les rendements baissent et la terre est peu à peu abandonnée. Il s'en suit de nouveaux défrichements, tandis que la zone abandonnée est soumise au pâturage et au feu, facteurs peu ou pas contrôlés ralentissant la régénération de la végétation et la remontée biologique des éléments minéraux.

Pour répondre aux questions énoncées précédemment, il a été décidé, dans le cadre du Projet de recherche Garoua (Ira, Irzv, Cirad)<sup>1</sup>, d'installer en 1989 un dispositif expérimental d'étude de la jachère agroforestière et de le suivre jusqu'en 1995. Cette recherche se poursuit depuis 1996 dans le cadre d'une action inter-instituts (Orstom, Cirad, Cnrs)<sup>1</sup>. La présente étude a pour objectif de comparer les effets de diverses espèces ligneuses sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol et sur la productivité de cultures de céréales. Sont comparées à une jachère naturelle herbacée protégée contre le feu et le pâturage, des jachères plantées en *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* et *Eucalyptus camaldulensis*. Dans la suite de l'énoncé, les trois espèces ligneuses seront désignées par leur nom de genre pour ne pas alourdir le texte.

## La conduite de l'expérimentation

### Le site d'étude

Le dispositif expérimental est situé dans le village de Ngong au sud de Garoua. Au cours de la période d'étude, la pluviométrie moyenne annuelle du site a été de 1 050 millimètres. Le sol (tableau 1), de type ferrugineux, formé sur des grès du Crétacé Moyen, est en surface pauvre en matière organique et très sableux ; en profondeur, la texture plus argileuse correspond à une plus grande richesse minérale.

### Le protocole expérimental

Après 8 années de jachère surpâturée, la végétation ligneuse à base de combrétacées et d'anonacées est très peu développée. Parmi les principales espèces herbacées, on rencontre *Spermacoce* spp., caractéristiques d'une pression pastorale excessive. La protection contre le feu et contre le pâturage conduit, après trois à quatre ans de jachère, à une formation herbacée à *Andropogon gayanus*.

Les espèces ligneuses plantées sont bien adaptées au milieu et présentent une croissance rapide. Sur le dispositif, les arbres ont été installés en 1989, dans les cultures, 2 ans avant d'arrêter celles-ci. La mise en jachère a eu lieu en 1991 avec protection des peuplements contre le feu et le pâturage ; les herbacées n'ont pas étouffé les jeunes arbres, qui avaient déjà deux ans. Cette technique d'installation des arbres avait été expé-

mentée auparavant avec succès par PELTIER et EYOG MATIG (1988).

Les parcelles ont été cultivées en arachide en 1989 puis en cotonnier en 1990. Le dispositif est un split-plot à 2 niveaux et 3 répétitions. Le premier facteur est la durée de jachère : 2 ans (remise en culture en 1993) et 5 ans (remise en culture en 1996). Le deuxième facteur est le type de jachère.

Les dimensions des parcelles unitaires sont de 28 m x 28 m et celles des parcelles utiles (hors bordures) de 20 m x 20 m. Les plantations d'arbres ont été effectuées à écartement de 4 m x 4 m, soit une densité de 625 pieds par hectare — 49 arbres par parcelle. L'espèce *Senna* n'ayant pas été prévue dans le dispositif initial, elle a été installée en 1990 en contiguïté de la répétition 3. Pour cette parcelle, la mise en jachère a eu lieu en 1992.

En mai 1993, les jachères de 2 ans, correspondant à 4 ans d'âge pour les plantations ligneuses, ont été exploitées. Après exportation du bois de diamètre supérieur à 3 centimètres, les résidus d'exploitation ont été étalés sur les parcelles, puis brûlés

1. Significations des sigles institutionnels. Ira et Irzv, instituts de recherche camerounais, sont aujourd'hui regroupés dans l'Irad, Institut de la recherche agricole pour le développement (Cameroun).

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (France).

Orstom : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (France).

Cnrs : Centre national de la recherche scientifique (France).

Tableau 1. Caractéristiques chimiques du sol de Ngong après 10 ans de culture continue.

Horizon (cm)	Argile + limons fins (%)	C total (mg/g de sol)	N total (mg/g de sol)	pH eau	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> (meq/100 g)	S* (meq/100 g)	CEC*	S/T
0-20	9,2	2,5	0,3	5,83	0,79	0,18	0,06	1,05	1,28	0,81
20-40	11,7	1,8	0,24	5,54	0,49	0,12	0,04	0,68	0,84	0,81
40-60	20,3	1,6	0,23	5,17	0,93	0,28	0,07	1,30	1,59	0,82
60-70	29,9	1,7	-	5,75	1,79	0,56	0,07	2,45	2,66	0,92
70-90	36,4	1,6	-	5,87	2,29	0,80	0,06	3,17	3,38	0,94

S : somme des bases échangeables (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>) ;

CEC, T : capacité d'échange cationique, S/T : taux de saturation.



avec la litière. Le labour en traction animale a été effectué dans de bonnes conditions malgré les racines et les souches des arbres. La culture de cotonnier a été pratiquée selon l'itinéraire technique préconisé par la Sodecoton (société de développement cotonnière) : 200 kilos par hectare d'engrais complet N-P-K-S-B (formule 15-20-15) et 100 kilos d'urée. En 2<sup>e</sup> année de remise en culture (1994), le sorgho a été installé sur les mêmes parcelles en semis direct, sans labour ni engrais.

En 1996, on a procédé de la même manière que précédemment pour l'exploitation des jachères de 5 ans, qui correspondaient à des plantations ligneuses de 7 ans. Le labour en traction animale a été effectué avant le semis du maïs.

## L'étude des sols

En juin 1989, avant la mise en place de l'essai, l'estimation des teneurs des sols en différents éléments a été faite sur des échantillons composites de quatre prélèvements par parcelle, aux profondeurs 0-20 et 20-40 centimètres.

Les processus d'humification et de décomposition ayant lieu préférentiellement dans les horizons supérieurs du sol avec l'incorporation de la litière et le renouvellement racinaire, les changements attendus des matières organiques du sol et des caractéristiques qui y sont liées se situent donc plutôt en surface avec probablement un gradient vers la profondeur. Aussi, en 1995, après 4 ans de jachère, nous avons subdivisé l'horizon 0-20 centimètres : analyses à 0-10 et 10-20 centimètres et prélèvement de l'horizon 0-5 centimètres. Dans chaque parcelle, 2 échantillons composites de 8 prélèvements ont été effectués par horizon jusqu'à 60 centimètres de

profondeur. En dessous, un seul échantillon par parcelle a été réalisé. La densité apparente a été déterminée en 1995, pour chaque horizon, avec la technique du cylindre — 6 répétitions dans 2 fosses pédologiques sur chaque parcelle et chaque horizon.

Les analyses chimiques des sols ont été exécutées au laboratoire du Cirad à Montpellier (France). Le fractionnement granulométrique de la matière organique du sol — séparation des matières organiques à caractère végétal figuré (diamètre supérieur à 20 µm) de celles liées aux colloïdes minéraux (diamètre inférieur à 20 µm) et analyse du contenu — a été réalisé au Laboratoire de comportement des sols cultivés (Lcsc) de l'Orstom à Montpellier. La méthode utilisée a été celle recommandée par FELLER (1995) pour les sols sableux à faible stabilité structurale.

La minéralisation de l'azote du sol a été mesurée *in situ* durant toute la saison des pluies 1995 sur l'horizon 0-20 centimètres selon la méthode utilisée par BERNHARD-REVERSAT (1982).

## Les effets sur les sols

### La mise en jachère améliore la porosité du sol en surface

La densité apparente est inversement liée à la porosité du sol. Dans notre étude, les variations significatives de densité apparente entre les différents modes de gestion du sol sont limitées à la profondeur de 5 centimètres. Les plus faibles densités obtenues sous *Acacia*, jachère herbacée protégée et *Senna* indiquent une plus forte porosité du sol que sous *Eucalyptus*, où elle est tout de même améliorée

par rapport à la culture continue (tableau 2). Il existe une corrélation significative ( $r = -0,65$  ;  $P < 0,001$ ) entre la densité apparente et la teneur en carbone du sol, signifiant que la porosité du sol augmente avec l'incorporation de matière organique au sol. Cette situation peut être due à plusieurs processus :

- la minéralisation des débris végétaux inclus dans le sol, créant des pores ;
- l'activité de la faune du sol favorisant la formation de micro-galeries souterraines ;
- la formation de microagrégats plus stables sous l'effet des apports organiques.

### Amélioration des teneurs en carbone et en azote après 4 ans de jachère à *Acacia*

Le tableau 3 donne, après 4 ans de jachère, les teneurs du sol en carbone et azote. Les différences significatives de teneur en carbone entre les types de jachère sont limitées à la profondeur de 20 centimètres. Pour les modes de gestion du sol, il n'y a pas de différence en dessous de 40 centimètres. En accord avec les résultats de l'analyse de variance, les traitements se classent, par rapport à leur action sur le carbone et l'azote du sol, selon l'ordre décroissant suivant : *Acacia* > jachère spontanée herbacée ≥ *Eucalyptus* > culture continue (remarque : *Senna* est hors dispositif).

Ces résultats sont confirmés par l'étude des variations<sup>2</sup> des teneurs en carbone et azote de l'horizon 0-20

Tableau 2. Densités apparentes de l'horizon 0-5 cm des sols des différentes situations en 1995.

ACP	(SEN)	EUC	JHP	CULT
1,32 c	(1,32)	1,37 b	1,33 c	1,44 a

Deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.  
ACP : *Acacia*, SEN : *Senna*, EUC : *Eucalyptus*, JHP : jachère herbacée protégée, CULT : culture continue.

2. Durant la phase de culture, on considère généralement que la perte de carbone organique au cours du temps est proportionnelle à la quantité de carbone préexistante et correspond à l'équation  $dC/dt = -kC$ ,  $k$  étant la constante de perte apparente de l'humus du sol (JENNY, 1950). Selon la formule précédente, la teneur en carbone va chuter en  $n$  années selon un rythme annuel  $k$ , donné par la relation :  $k(\%) = [(Ln Co - Ln Cn)/n] 100$ , avec  $Co$  carbone organique initial, et  $Cn$  après  $n$  années. Dans cette étude, le carbone organique, représentant 93 à 96 % du carbone total, a été confondu avec ce dernier.

Tableau 3. Carbone total et azote total du sol en juin 1995, après 4 ans de jachère. Les analyses de variance sont faites indépendamment pour chaque horizon. Les lettres a, b et c indiquent les groupes homogènes.

Profondeur (cm)	<i>Acacia</i>	Jachère herbacée protégée	<i>Eucalyptus</i>	Culture continue	Seuil de signification
<b>Carbone total (mg/g de sol)</b>					
0-5	5,3 a	4,9 ab	4,0 b	3,0 c	0,0002
0-10	4,1 a	3,4 b	3,1 bc	2,6 c	0,0003
10-20	3,0 a	2,6 ab	2,3 b	2,4 b	0,04
20-40	2,5 a	2,1 ab	1,9 ab	1,8 b	0,1
<b>Azote total (mg/g de sol)</b>					
0-5	0,46 a	0,42 ab	0,35 bc	0,30 c	0,0014
0-10	0,38 a	0,34 a	0,34 a	0,27 b	0,0004
10-20	0,30 a	0,27 a	0,25 a	0,25 a	0,24
20-40	0,29 a	0,24 b	0,23 b	0,24 b	0,0165

centimètres au cours de la période de jachère (figure 1). Les teneurs initiales de chaque parcelle, déterminées à partir d'un échantillon composite au moment de la plantation des arbres, sont comparées aux analyses de 1995 faites sur les mêmes parcelles.

La figure 1 indique, pour l'horizon 0-20 centimètres, une baisse significative de la teneur en carbone en culture continue de 0,6 milligramme par gramme de sol en 6 ans, soit un taux  $k$  de dégradation de la matière organique de 3,6 % par an. Si on applique ce taux aux autres traitements pour la période 1989-1991, on en déduit les teneurs en carbone du sol des différentes parcelles en 1991 avant la mise en jachère. A partir de cette date, la teneur en carbone augmente de façon hautement significative sous

*Acacia* (1 mg/g de sol en 4 ans). Il faut préciser que l'augmentation en carbone de 1989 à 1995 est également significative ( $\Delta C = 0,8$  mg/g de sol et  $P = 0,008$ ). Aucune variation significative n'est perceptible sous *Eucalyptus* et jachère herbacée. Il semblerait que ces traitements permettent de maintenir un stock organique constant de l'horizon 0-20 centimètres, contrairement au traitement culture. Cette approche diachronique confirme l'effet superficiel de la jachère naturelle sur les teneurs en carbone et azote du sol et la supériorité d'*Acacia*.

L'azote montre des variations analogues à celles du carbone mais proportionnellement moins élevées et à peine significatives dans le cas de la culture et d'*Acacia*.

### L'augmentation des teneurs en carbone et en azote est essentiellement due aux débris végétaux

De l'étude du fractionnement granulométrique des matières organiques du sol réalisée par HARMAND (1997), nous retiendrons les points suivants :

- les augmentations des teneurs en carbone et azote du sol avec les différentes jachères et en particulier *Acacia*, sont dues surtout aux débris végétaux du sol de taille supérieure à 50  $\mu\text{m}$  ;
- *Senna* montre une teneur en débris végétaux du sol (supérieurs à 50  $\mu\text{m}$ ) plus proche de celle de la jachère herbacée que d'*Acacia* ;
- le plus faible rapport C/N des débris végétaux du sol sous *Acacia* par rap-

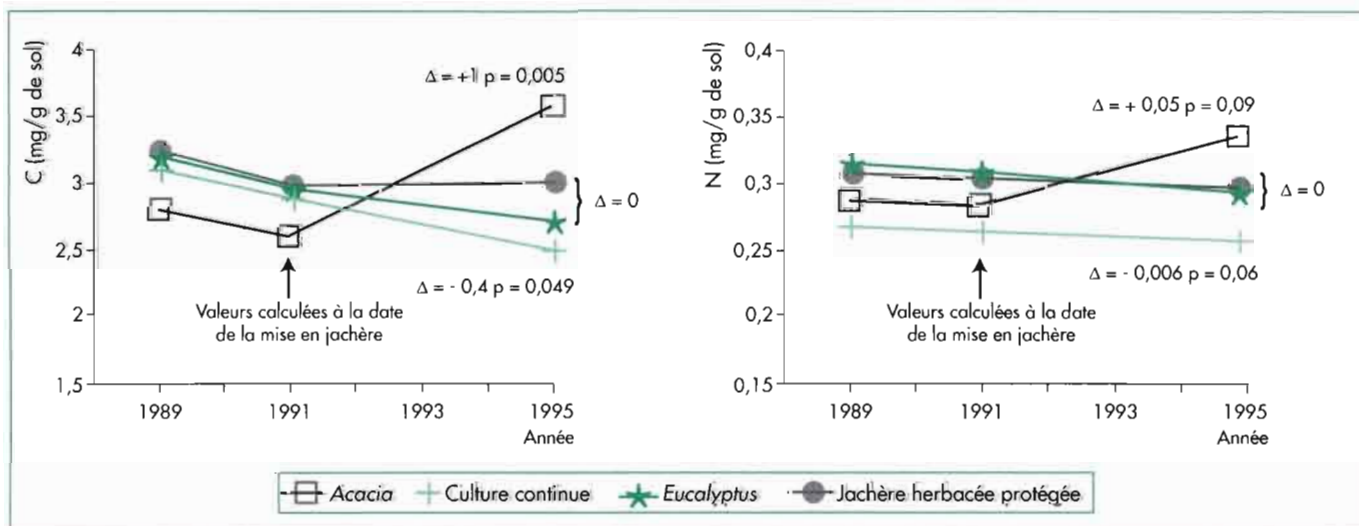


Figure 1. Variation des teneurs en carbone et azote totaux de l'horizon 0-20 cm du sol, entre 1989 et 1995. Une variation  $\Delta$  différente de 0 ( $\Delta \neq 0$ ) correspond à une variation significative de C ou de N entre 1991 et 1995.



port aux autres systèmes pourrait expliquer la plus grande disponibilité en azote minéralisable du sol également observée dans cette étude.

## Peu de répercussions sur la capacité d'échange cationique et les autres caractéristiques minérales du sol

De façon générale, en 1995, pour l'horizon 0-10 centimètres, les caractéristiques du complexe absorbant :

CEC, somme des bases (S), teneurs en  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  sont corrélées positivement avec le carbone ( $0,7 < r < 0,91$  et  $P < 0,001$ ). Les variations significatives des teneurs en carbone induites par les différents modes de gestion du sol se répercutent sur les caractéristiques minérales, dont les variations sont moins rapides et pas toujours significatives. La hiérarchisation des traitements jachères n'apparaît de façon significative que pour quelques composantes :  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  et S/T (tableau 4).

Pour l'horizon 0-20 centimètres, l'évolution de la CEC, entre 1989 à 1995

est représentée sur la figure 2. Les baisses de teneur en carbone sous culture continue et *Eucalyptus* s'accompagnent de baisses significatives de la CEC. En revanche, l'augmentation significative du taux de carbone sous *Acacia* ne correspond pas à une augmentation de CEC. On sait, d'après FELLER (1995), que pour ce type de sol, ce sont les fractions inférieures à 20  $\mu m$  et surtout celles inférieures à 2  $\mu m$  qui contribuent le plus à la CEC organique. Les variations maximales de CEC, au cours de la phase de jachère, sont donc limitées puisque les variations de carbone

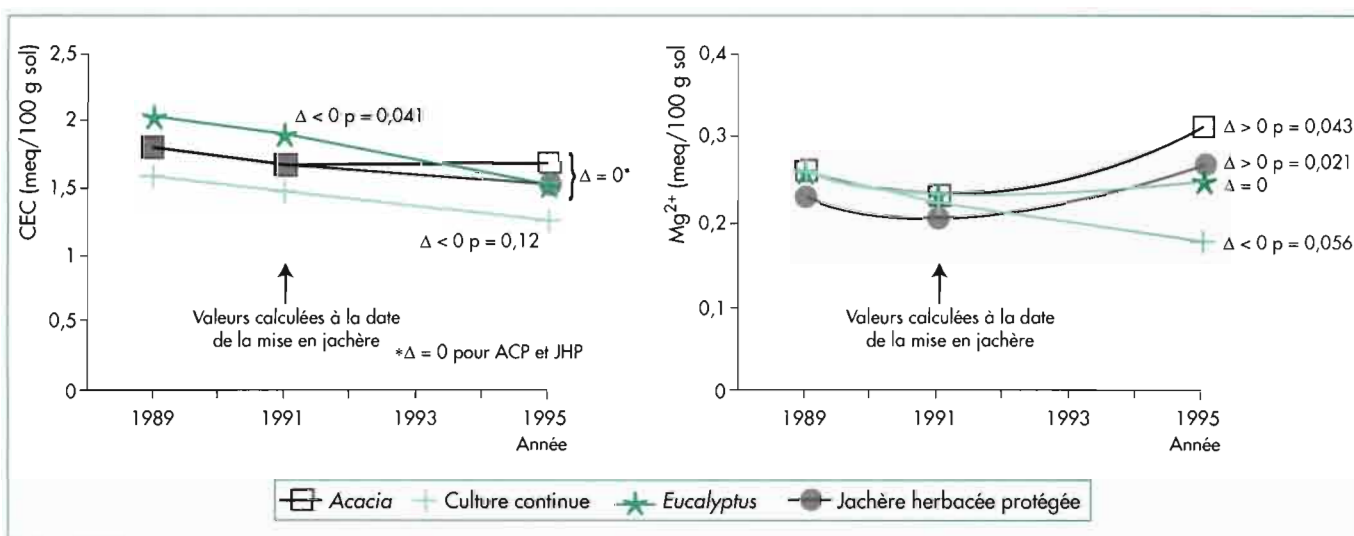


Figure 2. Variation de quelques caractéristiques minérales de l'horizon 0-20 cm du sol, entre 1989 et 1995. Une variation  $\Delta$  différente de 0 ( $\Delta \neq 0$ ) correspond à une variation significative de la variable entre 1991 et 1995.

Tableau 4. Caractéristiques minérales du sol en juin 1995, après 4 ans de jachère. Les analyses de variance sont faites indépendamment pour chaque horizon. Le seuil de signification de l'analyse de variance est précisé (0,05 : \*, 0,01 : \*\*, 0,001 : \*\*\*) ; les lettres a, b et c indiquent les groupes homogènes.

Traitement	Horizon (cm)	Arg. + lim. (%)	pH eau	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+$	S	CEC	S/T
(meq/100g)									
<i>Acacia</i>	0-10	6,9	6,33 a**	1,19	0,41 a***	0,07	1,69 a*	1,88 a*	0,90
	10-20	8,3	6,05	0,94	0,22	0,09	1,27	1,53	0,82 ab*
	20-40	11,3	5,68	0,73	0,18 a*	0,07 a*	0,99	1,15	0,86 a*
<i>Eucalyptus</i>	0-10	6,4	6,45 a**	1,15	0,30 b***	0,10	1,57 a*	1,74 a*	0,90
	10-20	9,2	5,84	0,79	0,20	0,07	1,07	1,37	0,78 b*
	20-40	11,7	5,57	0,51	0,18 a*	0,05 b*	0,75	1,00	0,74 b*
Jachère herbacée protégée	0-10	7,4	6,41 a**	1,13	0,35 ab***	0,07	1,56 a*	1,67 ab*	0,93
	10-20	9,7	5,99	0,95	0,20	0,07	1,24	1,42	0,86 a*
	20-40	11,4	5,64	0,65	0,14 ab*	0,06 ab*	0,86	1,00	0,85 a*
Culture continue	0-10	8,3	6,05 b**	0,85	0,19 c***	0,06	1,11 b*	1,26 b*	0,88
	10-20	10,1	5,82	0,73	0,18	0,06	0,99	1,29	0,74 b*
	20-40	11,7	5,54	0,49	0,12 b*	0,04 b*	0,68	0,84	0,81 ab*

concernent prioritairement les fractions supérieures à 50  $\mu\text{m}$ . La seule caractéristique minérale autre que la CEC, ayant montré une évolution significative dans l'horizon 0-20 centimètres, est le taux de  $\text{Mg}^{++}$  (figure 2).

En conclusion, l'amélioration progressive de la fertilité minérale des horizons de surface du sol sous jachère est lente. Sous *Acacia*, l'augmentation de la CEC induite par l'accroissement de teneur en carbone du sol n'est pas mise en évidence en 4 ans. L'enrichissement en bases échangeables dû à la saturation du complexe absorbant favorisée par le recyclage des cations n'est effectif que pour le magnésium.

### L'introduction d'*Acacia* dans la jachère active le cycle de l'azote

De l'étude du cycle de l'azote dans les peuplements de jachère réalisée par HARMAND (1997), on peut retenir les points suivants :

- le stockage de l'azote dans la jachère à *Acacia*, à la fois dans les différents compartiments de biomasse et dans la matière organique du sol, est beaucoup plus important que dans les autres systèmes. Cela est dû à la fixation symbiotique et à un fort recyclage de l'azote par la litière qui se décompose rapidement ;
- malgré la plus forte accumulation de l'azote dans le sol sous *Acacia*, le taux de minéralisation de l'azote est également plus important que dans les autres situations (17 % de l'azote total du sol) (tableau 5) ;

– la grande quantité d'azote minéralisé favorise un stockage de l'azote dans le système racinaire de l'*Acacia* très développé en surface (tableau 5).

## Influence des jachères sur les rendements en sorgho et en maïs

### Après 2 ans de jachère, *Acacia* améliore le rendement du sorgho

En juin 1993, après 2 ans de jachère, les productions de coton graine n'ont pas montré de différence en fonction du précédent. En revanche, en 1994, la culture de sorgho, installée sans engrais et sans travail du sol sur les mêmes parcelles, a permis de différencier les précédents (tableau 6). Le précédent *Acacia* permet de doubler la production par rapport aux autres jachères et de façon hautement significative ( $P = 0,0001$ , test t).

La plus grande disponibilité en azote minéral dans le sol, en particulier en nitrates, observée après *Acacia* (figure 3) peut expliquer ce meilleur développement du sorgho. Néanmoins, l'origine de cet azote assimilable par la plante reste à élucider, car en 1993, avant l'exploitation des jachères de 2 ans, il n'apparaît pratiquement pas d'évolution des caractéristiques du sol. On ne perçoit, dans l'horizon 0-10 centimètres, aucune différence significative entre les types de jachère et la culture continue pour le carbone et l'azote totaux et la CEC (HARMAND, 1997). Compte tenu du fonctionnement azoté du précédent, l'azote total après *Acacia* est vraisemblablement sous une forme plus facilement minéralisable qu'après les autres précédents. On peut penser également que le comportement de la deuxième culture a été influencé par la restitution des éléments minéraux immobilisés dans des compartiments végétaux non pris en compte dans les analyses chimiques de sol. Le brûlis ayant éliminé la majeure partie de l'azote de la litière et des résidus d'exploitation, le stock d'azote minéralisable disponible pour les cultures sui-

Tableau 5 : Eléments du cycle de l'azote dans les peuplements de jachère. Pour une même variable, deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.

Cycle de l'azote	<i>Acacia</i>	<i>Senna</i>	<i>Eucalyptus</i>	Jachère herbacée
Minéralisation de N du sol en 1995 :				
kg N/ha/an	166 a	25 c	40 b	26 c
% de N total du sol	17 a	3,1 d	6,1 b	3,6 c
Stockage de N dans la phytomasse racinaire en 1995 (kg N/ha) :				
racines fines ( $\varnothing < 2\text{mm}$ )	190 a	130 b	52 c	55 c
grosses racines + souches	152	35	54	-
total racines	342	165	106	55

Tableau 6 : Rendement en sorgho en 2<sup>e</sup> année de culture (1994) après 2 ans de jachère et rendement en maïs en 1<sup>ère</sup> année de culture (1996) après 5 ans de jachère, en t/ha, en fonction du type de jachère ou en culture continue.

		Type de jachère				
		<i>Acacia</i>	<i>Senna</i>	Jachère herbacée	<i>Eucalyptus</i>	Culture continue
Sorgho 1994	Moyenne	2,64 a		1,39 b	1,28 b	0,81 c
	Ecart type	0,53		0,13	0,35	0,55
	n*	12		4	12	24
Maïs 1996	Moyenne	3,03 a	1,02	0,81 b	0,74 b	0,53 b
	n*	4	hd*	4	4	4

n : nombre de placeaux ; hd : hors dispositif ; a, b : deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.



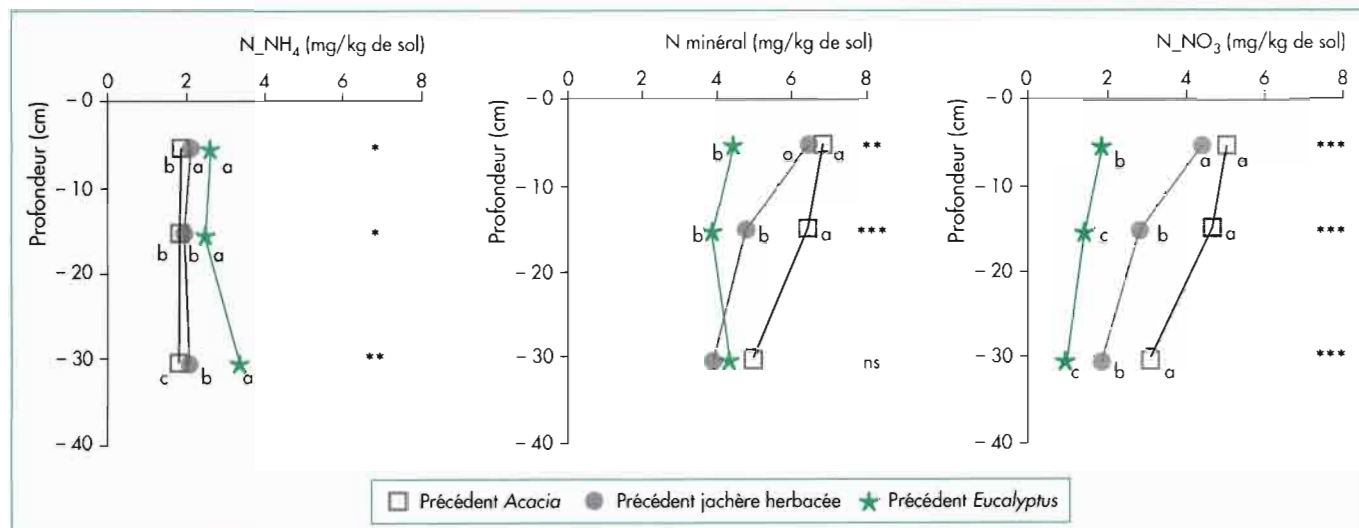


Figure 3. Teneur en azote minéral du sol sous culture de sorgho après différents précédents jachère à la date du 30 juin 1994. Le seuil de signification de l'analyse de variance pour chaque profondeur est précisé (\*, \*\*, \*\*\*, ns) et les lettres a, b et c indiquent les groupes homogènes.

vantes est surtout constitué de la nécromasse (matériel végétal mort) racinaire dont la décomposition peut être importante entre les deux premières cultures en intersaison sèche (MANLAY *et al.*, 1996). Dans le cas d'*Acacia*, légumineuse fixatrice d'azote, cette réserve a été plus importante (tableau 5) et/ou plus vite minéralisée.

### Maïs après *Acacia* : transfert d'azote à la culture

En 1996, après 5 ans de jachère, les rendements de la culture de maïs pratiquée sans engrais, montrent l'effet supérieur du précédent *Acacia* (tableau 6). Cet effet est à mettre en relation avec le niveau convenable de nutrition azotée du maïs après *Acacia*, donné par la teneur en azote des feuilles prélevées selon la méthode du diagnostic foliaire de LOUE (1965). Cette teneur est de 3 % alors que, dans les autres précédents, elle est en moyenne de 2,2 %, bien en dessous du seuil de carence admis — 3 % (GAMBOA, 1978).

L'effet favorable d'*Acacia* n'est pas montré par les caractéristiques du complexe d'échange de l'horizon 0-10 centimètres, mesurées sous culture en juillet 1996 après brûlis des résidus et 300 millimètres de pluie. Ces caractéristiques ne différaient pas entre les précédents jachère ligneuse (figure 4).

Néanmoins, en 1996, les caractéristiques minérales des jachères ligneuses, en particulier Ca<sup>++</sup> et la somme des bases, étaient améliorées par rapport à la jachère herbacée. Cela signifie que les plantations d'arbres sont plus efficaces que la jachère naturelle herbacée protégée, pour la remontée et la restitution des éléments minéraux à la surface du sol, et ceci malgré les exportations de bois de diamètre supérieur à 3 centimètres. Ces plus fortes restitutions sont liées aux plus fortes biomasses des jachères ligneuses.

Pour conclure, la plus forte production de la culture après *Acacia* est due à une teneur accrue en azote du sol, également plus facilement minéralisable, mais aussi à un stockage plus élevé d'azote et d'autres nutriments dans la matière organique du sol et dans la phytomasse racinaire.

## Conclusion

### Synthèse des résultats

Cette étude montre bien que la restauration de la fertilité du sol par la jachère ne dépend pas seulement de l'âge mais aussi du type et de la vigueur de la végétation en place.

Après 6 ans de plantation d'*Eucalyptus*, on a observé une évolution

plutôt défavorable des caractéristiques du sol, avec une mauvaise incorporation de la litière au sol sous forme de débris végétaux et une plus faible porosité du sol que dans les autres jachères. La jachère naturelle herbacée, protégée contre le feu et le pâturage, et la plantation de *Senna* ont eu un effet favorable superficiel sur les teneurs en carbone du sol. Seule la plantation d'*Acacia* a permis une amélioration nette de la teneur en carbone après 6 ans de plantation (4 ans de jachère). Pour cette espèce, la fixation d'azote atmosphérique et son recyclage important, par l'intermédiaire de la litière en décomposition rapide, augmentent son stockage dans le sol.

L'action de la jachère sur la matière organique du sol se manifeste principalement par une augmentation des débris végétaux peu efficaces dans les propriétés d'échange cationique. Néanmoins, elle est plus ou moins facilement minéralisable et constitue une source de nutriments pour les plantes de la jachère et les cultures suivantes.

Comme l'ont déjà montré SCHROTH *et al.* (1995), l'étude des caractéristiques organiques et des processus biologiques, telle que l'aptitude à la minéralisation de l'azote, s'est révélée plus pertinente que certaines analyses chimiques de sol effectuées couram-

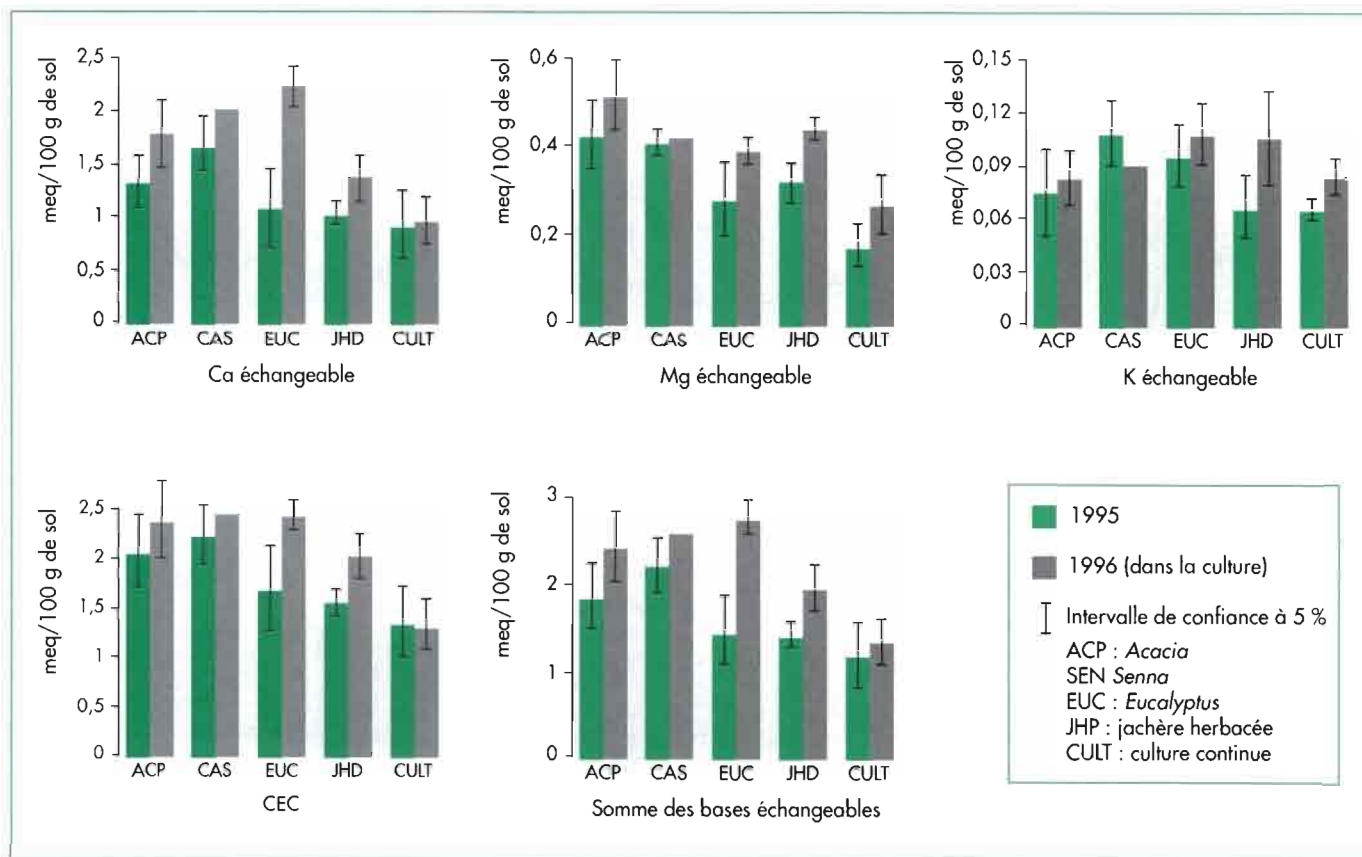


Figure 4. Variations des caractéristiques minérales de l'horizon 0-10 cm entre 1995 et 1996 avec l'exploitation des peuplements de jachères et le brûlis de la litière et des résidus.

ment en début de cycle cultural, en particulier l'étude du complexe absorbant. Par rapport à ce constat, l'aptitude agronomique des espèces ligneuses de jachère pourrait être évaluée par différents indicateurs comme la qualité de la litière, les caractéristiques racinaires (biomasse et renouvellement) et les activités biologiques du sol ayant une influence sur les cycles du carbone et de l'azote.

## Propositions d'utilisation des espèces étudiées

Etant donné son manque d'effet favorable sur la matière organique et la porosité du sol, ayant des conséquences néfastes sur le démarrage des cultures suivantes dans nos parcelles (HIEN, 1996), *Eucalyptus camaldulensis* n'est pas recommandable en jachère de courte durée et doit plutôt être installé sur les sols peu propices à l'agriculture. Dans la situation des sols ferrugineux sur grès de la région de Garoua, cela

correspond essentiellement aux piémonts de colline au sol superficiel et souvent caillouteux.

La jachère ligneuse améliorée peut être utilisée comme une technique agroforestière de réhabilitation de sol, à laquelle on ferait succéder un système de culture conservateur de la fertilité du sol de type agriculture sur mulch ou agriculture sous parc arboré. La couverture végétale (mulch) pourrait être constituée, dans un premier temps, de la litière de la jachère et le parc arboré, d'une partie des arbres de la jachère. Selon les espèces, différents scénarios sont envisageables.

Dans le cas de *Senna siamea*, l'absence de brûlis au moment de l'exploitation de la jachère permettra de conserver l'azote de l'agrosystème et de maintenir les souches en vie en association avec les cultures. Traitées en taillis fureté, ces souches serviront de base à une nouvelle phase de jachère. Cette technique reste à expérimenter à partir des boisements qui existent en milieu paysannal.

Dans le cas d'*Acacia polyacantha*, des arbres pourront être conservés en phase de culture afin de fournir de l'azote facilement minéralisable aux plantes cultivées. L'élagage partiel de ces arbres permettra de réduire les éventuels effets dépressifs sur les cultures dus à l'ombrage et à la concurrence racinaire en particulier pour l'eau. Ainsi taillés, les acacias fourniront du bois de service, comme c'est déjà le cas dans les parcs arborés des Monts Mandara au Cameroun. L'inconvénient d'*A. polyacantha* est sa faible production de gomme, obtenue pour l'instant uniquement en conditions naturelles. Un autre *Acacia* soudano-sahélien, *A. senegal*, est adapté à toutes les stations de la zone soudanienne (HARMAND *et al.*, 1995) et fournit, dès l'âge de 4 ans, une gomme dure en quantité intéressante après saignée de l'arbre (60 à 250 kg/ha/an). Cette espèce fixatrice d'azote améliore les teneurs en carbone et en azote du sol (HUSSEIN, 1990) et représente un enjeu économique pouvant motiver sa plantation en milieu rural.



## Bibliographie

BERNHARD-REVERSAT F., 1982. Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 32: 321-332.

FELLER C., 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de doctorat d'Etat, Orstom, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 393 p. + annexes.

FELLER C., LAVELLE P., ALBRECHT A., NICOLARDOT B., 1993. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In *Atelier international. La jachère en Afrique de l'Ouest*, C. FLORET et G. SERPANTIER (Ed.), Montpellier, France, 2-5 décembre 1991. Orstom, Paris, France, p. 14-32.

GAMBOA A., 1978. La fertilité du maïs. Bulletin IIP, 5. Institut international de la potasse, Berne, Suisse, 72 p.

GREENLAND D.J., NYE P.H., 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *Journal of Soil Science* 10: 284-299.

HARMAND J.-M., NJITI F. C., NTOUPKA M., 1995. Projet Garoua - Agroforesterie. Contribution de la recherche à la gestion de l'arbre et des

formations naturelles de savane en zone soudanienne du Cameroun. Irad, Garoua, Cameroun, Cirad, Montpellier, France, 17 p.

HARMAND J.-M., 1997. Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. (Bassin de la Bénoué au Nord-Cameroun). Thèse de doctorat, université de Paris VI, France, 213 p. + annexes.

HUSSEIN S.E.G., 1990. The influence of fallow under *Acacia senegal* (L.) Willd. on the C and N content of the soil. *Beitrag zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinarmedizin*, 28 (2): 217-222.

HIEN E., 1996. Effets de jachères de diverses natures sur le statut organo-minéral d'un sol ferrugineux tropical dégradé. Conséquences pour la culture. Cas de Ngong - Nord Cameroun. Mémoire de fin d'études, Cnearc-Eitarc, Montpellier, France, Irad, Garoua, Cameroun, Cirad, Montpellier, France, 77 p.

JAIEYEOBA I.A., 1988. Build-up organic matter and nutrients. *Malaysian Journal of Tropical Geography* 18: 10-16.

LOUE A., 1965. Le diagnostic foliaire du maïs (méthodologie, état actuel des connaissances, utilisation). Inst. Int. Potasse 4<sup>e</sup> colloque, Belgrade, Bulgarie, p.105-116.

MANLAY R., MASSE D., KAIRE M., PONTANIER R., 1996. Dynamique du carbone lors

du cycle culture-jachère. In *Raccourcissement du temps de jachère, Biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali)*. Rapport scientifique 1996, CCE, p. 29-34.

MOREL R., QUANTIN P., 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *L'Agronomie Tropicale* 19 (2) : 105-133.

OUATTARA B., HIEN V., OUATTARA K., LOMPO T., BILGO A., SERPANTIER G., 1997. Etats physico-chimiques des sols cultivables en zone cotonnière du Burkina Faso. Effets de l'histoire culturelle et du type de milieu. In *actes de l'atelier Jachère et maintien de la fertilité*, C. FLORET et R. PONTANIER (Ed.), Bamako, Mali, 2-4 octobre 1997. 1er, Orstom, Bamako, Mali, p. 17-32.

PELTIER R., EYOG MATIG O., 1988. Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques* 217 : 3-31.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Agridoc-International, Paris, France, Cirad, Montpellier, France, 444 p.

SCHROTH G., KOLBE D., PITY B., W. ZECH, 1995. Searching for criteria for the selection of efficient tree species for fallow improvement, with special reference to carbon and nitrogen. *Fertilizer Research* 42: 297-314.

## Résumé... Abstract... Resumen

J.-M. HARMAND, C. F. NJITI — **Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière.**

Cette étude, réalisée en zone soudanienne du Cameroun sous 1 050 mm de pluie annuelle, a pour objectif d'évaluer les effets de diverses jachères sur les caractéristiques du sol et sur la production de céréales. Sont comparées à une jachère naturelle herbacée protégée contre le feu et le pâturage, des jachères plantées en *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* et *Eucalyptus camaldulensis*. *E. camaldulensis* a montré, après 6 ans de plantation, une évolution plutôt défavorable des caractéristiques du sol — mauvaise incorporation de matière organique au sol, plus faible porosité du sol que dans les autres jachères. La jachère herbacée et la plantation de *S. siamea* ont eu un effet favorable superficiel sur la teneur en carbone du sol, mais seule la plantation d'*A. polyacantha* a permis une amélioration nette des teneurs en carbone et azote du sol après 6 ans de plantation (4 ans de jachère). L'action sur la matière organique du sol, en particulier *A. polyacantha*, se manifeste surtout par l'augmentation des débris végétaux grossiers (> 50µm) peu efficaces dans les propriétés d'échange cationique ; l'effet sur la capacité d'échange cationique n'est pas visible après 4 ans de jachère. La plus grande capacité d'*A. polyacantha*, espèce fixatrice d'azote, à stocker de l'azote facilement minéralisable dans la matière organique du sol et dans la phytomasse racinaire, explique son effet supérieur sur le comportement des cultures suivantes après 2 et 5 ans de jachère. Différents scénarios d'utilisation des espèces étudiées sont proposés.

Mots-clés : agroforesterie, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, fertilité, carbone, azote, capacité d'échange cationique, sorgho, maïs, Cameroun.

J.-M. HARMAND, C. F. NJITI — **Effect of agroforest fallow on the fertility of a ferruginous soil and on cereal production.**

This study, conducted in the Sudanese region of Cameroon, with 1 050 mm of rain per year, set out to assess the effects of various types of fallow on soil characteristics and cereal production. A natural herbaceous fallow protected against fire and grazing was compared with fallow planted with *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* and *Eucalyptus camaldulensis*, which showed that in the six years after planting, soil characteristics deteriorated in the *E. camaldulensis* fallow - poor organic matter incorporation into the soil, lower soil porosity - compared to the other types. Herbaceous fallow and *S. siamea* had a positive effect on soil carbon content, but only *A. polyacantha* led to a marked improvement in carbon and nitrogen contents six years after planting (four years' fallow). The effect on soil organic matter content, particularly of *A. polyacantha*, was primarily reflected in an increase in large fragments of plant debris (> 50µm), which are largely ineffective in terms of cation exchange capacity; there was no visible effect on CEC after four years' fallow. The fact that *A. polyacantha*, a nitrogen fixing species, was more able to store nitrogen that was easily mineralizable in the soil organic matter and root biomass accounts for its more marked effect on the performance of subsequent crops after two and five years' fallow. Different ways of using the species studied are proposed.

Keywords: agroforestry, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, fertility, carbon, nitrogen, cation exchange capacity, sorghum, maize, Cameroon

J.-M. HARMAND, C. F. NJITI — **Efectos de barbechos agroforestales en la fertilidad de un suelo ferruginoso y en la producción de cereales.**

Este estudio, realizado en zona sudanesa de Camerún con 1050 mm de lluvia anual, tiene por objetivo evaluar los efectos de varios barbechos en las características del suelo y en la producción de cereales. Se comparan con un barbecho natural herbáceo protegido contra el fuego y el pasto, barbechos sembrados con *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* y *Eucalyptus camaldulensis*. *E. camaldulensis* mostró, después de 6 años de plantación, una evolución más bien desfavorable de las características del suelo — mala incorporación de materia orgánica en el suelo, más baja porosidad del suelo que en los demás barbechos. El barbecho herbáceo y la siembra de *S. siamea* surtieron un efecto favorable superficial en el contenido de carbono del suelo, pero sólo la siembra de *A. polyacantha* permitió un nítido mejoramiento de los contenidos de carbono y nitrógeno después de 6 años de plantación (4 años de barbecho). La acción del suelo en la materia orgánica, en particular *A. polyacantha*, se manifiesta sobre todo por el aumento de los residuos vegetales gruesos (> 50µm) poco eficaces en las propiedades de intercambio cationico; el efecto en la capacidad de intercambio cationico no es visible al cabo de 4 años de barbecho. La mayor capacidad de *A. polyacantha*, especie fijadora de nitrógeno, al almacenar nitrógeno fácilmente mineralizable en la materia orgánica del suelo y en la fitomasa radicular, explica su efecto superior sobre el comportamiento de las cultivos a venir después de 2 y 5 años de barbecho. Se proponen distintos escenarios de utilización de las especies estudiadas.

Palabras-claves: agroforesteria, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, fertilidad, carbono, nitrógeno, capacidad de intercambio cationico, sorgo, maíz, Camerún.



Erosion sur une parcelle labourée après une pluie de 35 millimètres.  
Mise en culture d'une prairie permanente sur vertisol en Martinique.  
*Bost-Orstom*



Ovins en pâture sur une prairie artificielle. Mise en culture d'une prairie permanente sur vertisol en Martinique.  
*Bost-Orstom*

Labour sur prairie : le sol encore trop humide est plastique, le lissage est visible. Mise en culture d'une prairie permanente sur vertisol en Martinique.  
*Bost-Orstom*



Machine à bêcher petit modèle (1,2 mètre). Mise en culture d'une prairie permanente sur vertisol en Martinique.  
*Bost-Orstom*



# Jachères naturelles et restauration des propriétés des sols en zone semi-aride

## Cas du Sénégal

En Afrique tropicale soudanienne, l'exploitation des jachères se traduit par la diminution de leurs surfaces et de leur durée. Les ressources pastorales et ligneuses et les produits de la cueillette se raréfient. La jachère ne remplit plus son rôle de restauration de la fertilité des sols. La connaissance des effets de ces pratiques est un préalable à toute proposition relative à la durabilité des systèmes de culture et à la place de la jachère dans ces systèmes. Au Sénégal, la comparaison de zones protégées et de zones très exploitées permet d'évaluer les conséquences des modes de gestion des sols.

Dans les zones soudanienne d'Afrique tropicale, les jachères subissent une forte pression agricole et sylvo-pastorale. Cette exploitation intense se traduit à la fois par une diminution de leurs surfaces et de leur durée. Au cours d'une enquête conduite au Mali, OLSSON (1984) indique que la durée moyenne des jachères est passée de 17 à 9 ans. Au Burkina Faso, les jachères occupaient en 1956 environ 50 % des terres agricoles ; en 1980, elles n'en représentaient que le tiers (CASENAVE et VALENTIN, 1989). Les ressources pastorales et ligneuses ainsi que les produits de la cueillette se sont raréfiés. Dans le même temps, la jachère ne peut plus remplir son rôle dans les processus de restauration de la fertilité physico-chimique et biologique des sols (FLORET *et al.*, 1993).

Dans ce contexte, pour assurer leurs différentes fonctions dans les terroirs villageois, les jachères doivent être

améliorées et mieux exploitées. La connaissance des effets de ces pratiques sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols et de leurs relations avec la végétation et les contraintes environnementales est un préalable à toute proposition technique. Ces données, abondantes pour les milieux tropicaux humides sont rares en zone semi-aride (PALM *et al.*, 1996). En 1994, les centres nationaux de recherche agronomique de six pays d'Afrique de l'Ouest ont lancé, en collaboration avec l'Orstom, une action de recherche, le programme Jachère, soutenue financièrement par l'Union européenne, pour étudier diverses pratiques de la jachère en Afrique de l'Ouest et du Centre.

L'objectif de cet article est de présenter, à partir des travaux réalisés au Sénégal, les observations collectées sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols, en fonction de la durée du

MASSE D.<sup>1</sup>, CADET P.<sup>1</sup>, CHOTTE J.-L.<sup>1</sup>,  
DIATTA M.<sup>2</sup>, FLORET C.<sup>1</sup>, N'DIAYE-FAYE N.<sup>3</sup>,  
PATE E.<sup>1</sup>, PONTANIER R.<sup>1</sup>, THIOULOUSE J.<sup>4</sup>,  
VILLENAVE C.<sup>1</sup>.

1. Orstom, BP 1386, Dakar, Sénégal

2. Isra, BP199, Kaolack, Sénégal

3. Université Cheikh Anta Diop (UCAD),  
Dakar, Sénégal

4. Cnrs/Orstom, BP 1386, Dakar, Sénégal

précédent cultural et de la jachère. La comparaison de zones protégées et de zones fortement anthropisées permet d'évaluer les effets des différents modes de gestion des sols.

## La conduite de l'expérimentation

### Le milieu

Cette étude a été menée dans la partie sud du bassin arachidier sénégalais dans le village de Sonkorong, appartenant à la communauté rurale de Thyse Kaymor (figure 1). Le climat est de type sahélo-soudanien à une seule saison des pluies de juin à octobre. La pluviosité annuelle est de 750 millimètres. La densité de population atteint 70 habitants au kilomètre carré.

### Le contexte institutionnel

Le programme coopératif de recherche, intitulé « la jachère en Afrique tropicale », est exécuté, sous l'égide de la Conférence des responsables de recherche agronomique africains (Coraf), par les centres nationaux de recherche agronomique du Burkina Faso, du Cameroun, de la Côte d'Ivoire, du Mali, du Niger et du Sénégal, avec l'assistance scientifique du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad, France) et de l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom, France) qui en assure la coordination. Il reçoit le soutien financier de l'Union européenne (STD3/DGXII/TS3-CT93-0220 et DGXIII/7 ACP RPR 269).

Le projet s'intéresse essentiellement aux conséquences de la diminution du temps de jachère sur l'état des ressources des différents stades du cycle culture/jachère — fertilité biochimique, diversité, ressources pastorales et ligneuses, etc. Il propose des solutions à la gestion actuelle de l'espace rural des savanes de la zone pluviométrique 500–1 200 millimètres. La première phase prend fin en 1999 ; un séminaire international, qui se tiendra à Dakar du 13 au 16 avril 1999, présentera les principaux résultats.

Forêts et jachères ne représentent plus que 36 % de la superficie du territoire (DIATTA, 1994). Les parcelles cultivées sont surtout consacrées au mil et à l'arachide en rotation biennale. A ces cultures, est associé un élevage sédentaire orienté vers l'élevage bovin.

### Les sols et la végétation

Dans la zone étudiée, BERTRAND (1972) distingue trois grandes unités géomorphopédologiques : un plateau d'altitude moyenne (40 m), un glacis de raccordement terrasse-plateau et un fond alluvial à différents niveaux de terrasse. Les sols sont essentiellement des sols ferrugineux tropicaux lessivés reposant sur gravillons ou sur une cuirasse ferrique. Ils sont généralement acides, très désaturés et appauvris en argile dans les horizons superficiels. Leur teneur en carbone organique est proche de 5 mg/g de sol. La réserve hydrique utile varie avec la profondeur d'apparition de l'horizon gravillonnaire (0,20 à plus de 1 m).

A Sonkorong, les plateaux sont occupés par une savane arbustive à base de combrétacées. Les ligneux les plus fréquents sont *Combretum glutinosum* Perr., *Guiera senegalensis* J.F. Gmel., *Icacina senegalensis* A.Juss et

*Acacia macrostachya* Reich. La végétation est limitée tant par la profondeur de la cuirasse que par la pression de prélèvement.

### Les situations étudiées

Il s'agit d'une jachère ancienne de 17 ans (Ja) et d'une jachère récente de 3 ans (Jr) installée soit après une courte période de culture de 4 ans (Jr.Cc), soit après une longue période de culture de 40 ans (Jr.Lc). Chacune de ces jachères a été divisée en deux parties :

- une partie en défens, protégée du pâturage et de la collecte du bois par une clôture, et du feu par une bande pare-feu (D) ;
- une partie anthropisée, ouverte et soumise à la pression anthropique (A).

### Les paramètres mesurés

#### Propriétés chimiques

Les paramètres chimiques ont été mesurés sur des échantillons de sol prélevés en 1996. Pour chaque situation, 16 prélèvements, espacés de 1,50 mètre, ont été effectués le long d'un transect fixe localisé dans une zone représentative. Chaque prélèvement a été analysé séparément.

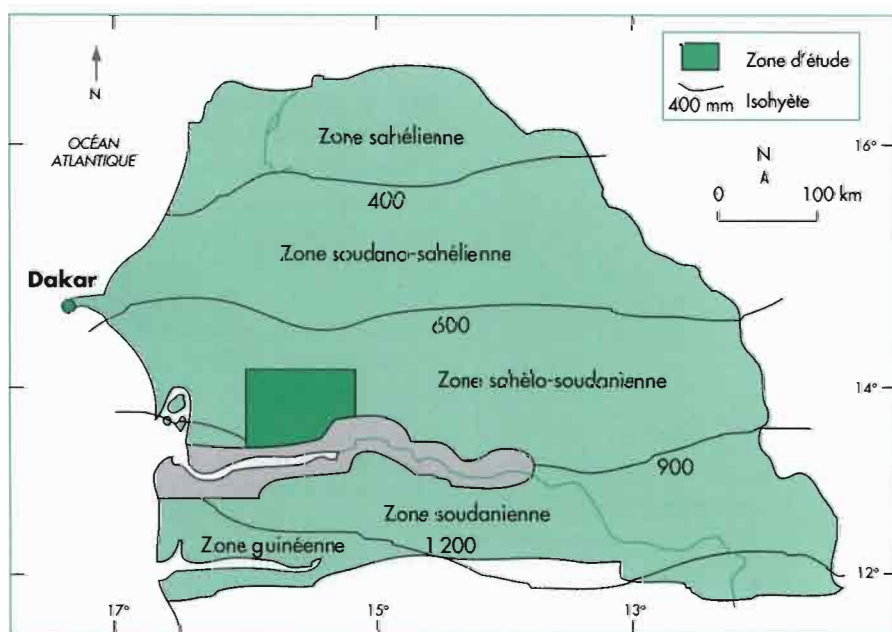


Figure 1. Situation de la zone d'étude.



Les analyses concernent le carbone organique total (méthode ANNE), l'azote total (méthode KJELHDAL), le phosphore total (méthode MURPHY et RILEY), la capacité d'échange cationique (méthode au  $\text{CaCl}_2 \text{ KNO}_3$ ), les bases échangeables (méthode à pH 7 à l'acétate d'ammonium). Après une analyse de variance dans laquelle la teneur en argile de chaque échantillon est introduite comme covariable, un test de comparaison multiple (NEW-MANN'S et KEULS) est appliqué sur les moyennes de chaque situation.

### Propriétés physiques

Ces caractérisations ont été réalisées uniquement dans la jachère ancienne en défens (Ja.D) et dans la jachère récente en défens installée après 40 années de culture (Jr.Lc.D). Deux blocs de 10 centimètres d'arête de sol non perturbé ont été prélevés sur chaque situation en janvier 1997, c'est-à-dire sur des jachères respectivement âgées de 3 et 19 ans, pour déterminer d'une part la porosité totale caractérisée par analyse d'image sur lame mince, et d'autre part une distribution pondérale des agrégats après fractionnement granulométrique (CHOTTE *et al.*, 1993).

### Propriétés biologiques

Les analyses nématologiques ont porté sur les mêmes échantillons que ceux prélevés pour la caractérisation chimique. Cependant, les analyses

nématologiques ont été effectuées durant 3 années (1994, 1995 et 1996) en saison sèche (mars), en début de saison des pluies (juin), en saison des pluies (deux dates : juillet et septembre), en fin de saison des pluies (octobre) et en début de saison sèche (novembre). Les nématodes phytoparasites sont extraits du sol par la méthode de SEINHORST (1962). Les divers genres (saprophages et parasites) et les différentes espèces sont dénombrés sous une loupe binoculaire. Les relations entre les abondances des espèces de nématodes et les transects des différentes situations sont étudiées par une analyse triadique (THIOULOUSE et CHESSEL, 1987).

La biomasse microbienne totale a été déterminée sur des échantillons de sol prélevés dans l'horizon 0-10 centimètres des parcelles Ja.D et Jr.Lc.D en mars 1997. Après une pré-incubation selon la méthode de SCHINNER *et al.* (1996), la biomasse totale est estimée par la méthode de fumigation-extraction (AMATO et LADD, 1988) à partir du gain d'azote aminé libéré au cours d'une incubation de 10 jours en atmosphère saturée en chloroforme. Trois mesures sont réalisées pour chaque échantillon.

La fixation de l'azote par les organismes non symbiotiques a été réalisée sur les sols prélevés sur les parcelles Ja.D et Jr.Lc.D âgées respectivement de 19 et 3 ans par la méthode de l'ARA (activité réductrice

de l'acétylène) à partir du dosage d'éthylène formé en conditions contrôlées d'incubation.

## Les résultats des analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau 1.

### Matière organique : carbone et azote total

La teneur en carbone organique du sol (horizon 0-10 cm) est significativement supérieure dans les jachères anciennes (Ja), avec une différence par rapport aux jachères récentes (Jr) de l'ordre de 1,5 à 2 mg/g de sol. Pour les jachères anciennes, la teneur en carbone des sols en défens est significativement supérieure à celles des situations anthropisées. Aucune différence significative n'apparaît pour les jachères récentes entre les parcelles protégées et celles anthropisées ; la teneur moyenne en carbone pour ces quatre situations est de l'ordre de 4,4 mg/g de sol. Dans les parcelles anthropisées, 17 ans de jachère permettent d'augmenter la teneur en carbone de 27 % par rapport à celle mesurée après 3 années de jachère. Cette augmentation atteint 56 % si les parcelles sont mises en défens.

Tableau 1. Paramètres chimiques du sol dans les différentes jachères. Les lettres indiquent les groupes de moyennes significativement différents après une analyse de variance.

Situation	C (mg/g de sol)	N (mg/kg de sol)	P total (mg/kg de sol)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> (meq/100 g de sol)	K <sup>+</sup>	CEC	S/T %
<b>Jachère récente (3 ans)</b>									
Lc.A	4,57 c	0,35 b	62 a	1,58 a	0,73 ab	0,03 abc	0,06 b	3,80 c	64,0 ab
Lc.D	4,36 c	0,36 b	69 a	1,60 a	0,68 b	0,006 d	0,06 b	3,56 cd	65,4 a
Cc.A	4,63 c	0,46 b	60 a	1,07 b	0,49 c	0,02 bcd	0,10 a	2,95 e	58,0 bc
Cc.D	4,02 c	0,45 b	59 a	0,86 b	0,34 d	0,01 dc	0,09 a	3,20 de	41,5 d
<b>Jachère ancienne (17 ans)</b>									
A	6,00 b	0,60 a	71 a	1,66 a	0,64 b	0,05 a	0,09 a	4,40 b	56,5 c
D	6,87 a	0,50 b	90 a	1,81 a	0,79 a	0,04 ab	0,11 a	4,98 a	54,0 c

Lc : jachère récente installée après une période de culture de 4 ans.

Cc : jachère récente installée après une période de culture de 40 ans.

A : soumise à la pression anthropique.

D : mise en défens totale.

La teneur en azote total des sols est équivalente dans toutes les situations à l'exception de la jachère ancienne anthropisée où elle est significativement supérieure.

## Phosphore total

Les teneurs en phosphore n'augmentent pas de façon significative dans les jachères anciennes, comparées aux jachères récentes.

## Bases échangeables

La capacité d'échange cationique des sols des jachères anciennes est supérieure à celle des jachères récentes. La valeur la plus élevée est enregistrée dans la parcelle mise en défens. Les valeurs les plus faibles ont été obtenues dans les jachères jeunes

avec précédent cultural court. La protection n'a pas d'incidence sur ce paramètre. Les bases échangeables suivent les mêmes tendances.

## Les résultats des analyses physiques

### Porosité totale et agrégation

La porosité totale observée sur une lame mince atteint 24 % dans la jachère ancienne en défens. Elle est significativement plus faible dans la jachère récente en défens (12 %).

Concernant le test d'agrégation, la fraction pondéralement la plus importante est la fraction 50-2 000  $\mu\text{m}$  (figure 2). Dans la jachère récente protégée, cette fraction représente

environ 70 % du poids du sol total. Cette proportion est significativement plus faible dans la jachère ancienne (Ja.D : 46 %). Pour ces deux situations, la fraction 50-2 000  $\mu\text{m}$  obtenue lors de l'analyse mécanique représente 64 % (Jr.D) et 55 % (Ja.D) du poids du sol total. Les argiles dispersées (0-2  $\mu\text{m}$ ) sont les plus abondantes dans la situation Jr.D (11 % du poids du sol total) que dans la situation Ja.D (2 %). Cette quantité est respectivement équivalente et significativement inférieure aux argiles granulométriques obtenues lors de l'analyse mécanique dans chaque situation. Contrairement aux autres fractions, les fractions 2-50  $\mu\text{m}$  et de plus de 2 000  $\mu\text{m}$  sont les plus abondantes dans la jachère ancienne protégée. Elles représentent, en pourcentage du poids du sol total, respectivement 23 % pour Ja.D et 12 % pour Jr.D ; 29 % pour Ja.D et 7 % pour Jr.D. Il n'existe pas de graviers de plus de 2 000  $\mu\text{m}$  dans les sols : la fraction de plus de 2 000  $\mu\text{m}$  est donc constituée d'agrégats.

## Les résultats des analyses biologiques

### Peuplements de nématodes

Sur le plan statistique, la mise en défens des jachères favorise le développement des espèces majeures — potentiellement dangereuses pour l'agriculture — dans la jachère jeune sur sol épuisé par une longue période de culture, alors que l'inverse se produit pour le précédent cultural de courte durée (tableau 2). Cependant, les différences qui apparaissent dans l'abondance globale des espèces majeures (2 500 à 6 000 nématodes/ $\text{dm}^3$  de sol) ne sont pas réellement importantes, ni significatives compte tenu des potentialités de reproduction des nématodes. Il y a moins d'espèces de nématodes phytoparasites dans la parcelle de jachère jeune qui a été cultivée pendant une longue période.

Parallèlement, à l'échelle du transect, la richesse des peuplements

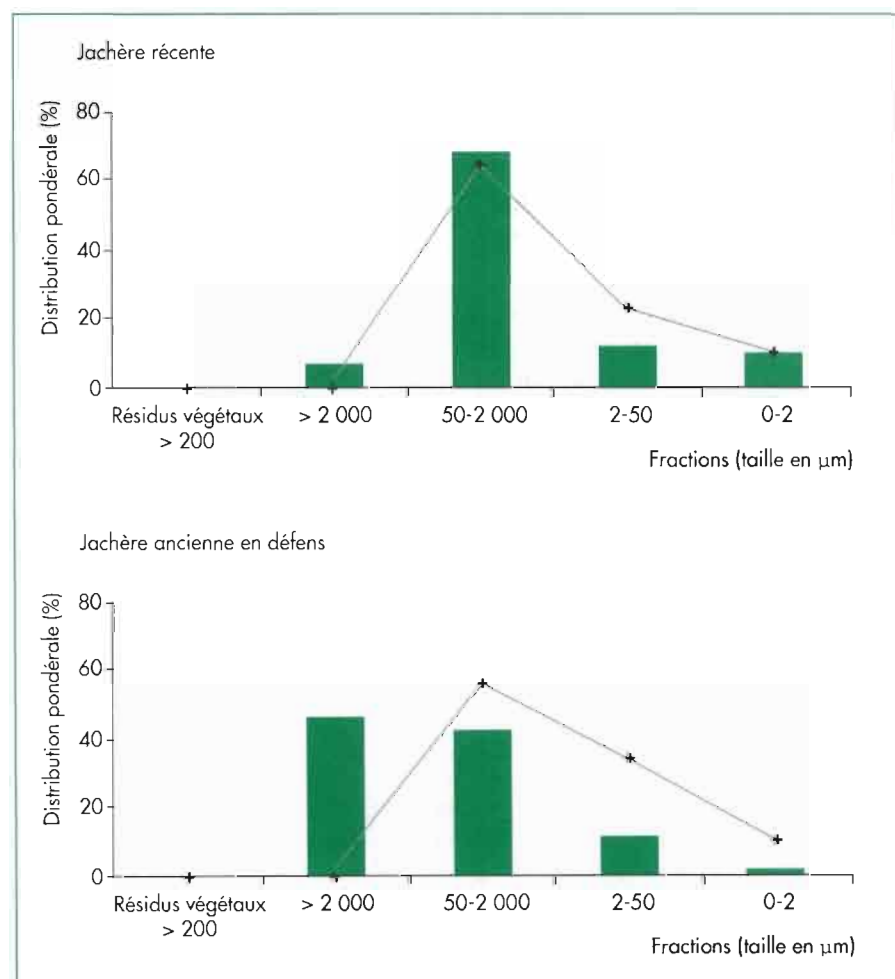


Figure 2. Distribution pondérale des fractions obtenues par fractionnement granulométrique et analyse mécanique des sols (horizon 0-10 cm) des jachères récente (Jr.D) et ancienne (Ja.D) en défens.



Tableau 2. Abondance moyenne des nématodes dans différentes jachères pour les trois années d'observations (nombre par 250 cm<sup>3</sup> sol). Moyenne (écart type de la moyenne) ; deux moyennes suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes ( $p < 0,05$ , tests de Wilcoxon).

Situation	Numéro transects	Nématodes libres (x 10 <sup>3</sup> )	Espèces mineures	Espèces majeures	Abondance totale (x 10 <sup>3</sup> )
<b>Jachère récente (3 ans)</b>					
Lc.A	1	5,3 (0,7) a	314 (56) a	617 (62) a	6,2 (07) ab
Lc.D	2	4,8 (06) ab	428 (70) a	1 049 (112) bc	6,3 (0,7) a
Cc.A	3	4,4 (0,5) ab	293 (38) a	809 (86) b	5,5 (0,6) a
Cc.D	4	4,7 (0,6) ab	351 (62) a	663 (65) a	5,7 (0,7) ab
<b>Jachère ancienne (17 ans)</b>					
A	7	5,3 (0,7) abc	740 (102) b	768 (118) ab	6,8 (0,9) b
A	8	6,2 (0,7) c	1 113 (167) cd	1 506 (187) cd	8,8 (1,0) c
D	9	4,0 (0,3) a	723 (64) bc	1 566 (176) d	6,2 (0,4) ab
D	10	6,3 (0,5) c	987 (127) d	1 646 (176) d	8,9 (0,7) c

nématologiques augmente avec l'âge de la jachère (tableau 3). Dans les jachères jeunes, l'effet de la mise en défens provoque des résultats opposés pour cet indice. Dans les jachères anciennes, la richesse des peuplements de nématodes est comparable entre les zones protégées et les zones anthropisées.

L'analyse triadique, dont les résultats détaillés ne sont pas présentés ici, montre que la structure spécifique des peuplements de nématodes des zones protégées et des zones anthropisées est relativement stable au cours de la saison. Cette structure évolue avec l'âge de la jachère et en fonction de sa situation (figure 3). Dans les jachères récentes, les populations de *Scutellonema cavenessi* et de *Tylenchorhynchus gladiolatus* sont abondantes alors que dans les jachères de 18 ans, ce sont les populations d'*Helicotylenchus dihystra*, de *Gracilachus parvula* et les espèces mineures qui sont dominantes, et inversement (figure 3 a). Les zones anthropisées se distinguent des zones en défens (figure 3 b), sauf dans le cas de la jachère récente sur sol appauvri. Dans les parcelles protégées, *Helicotylenchus dihystra* est plus abondant, les effectifs sont multipliés par 3 environ, et les populations de *Tylenchorhynchus mashhoodi* et de *Pratylenchus pseudopratensis* sont nettement plus faibles que dans les zones anthropisées ou dans les jachères sur défriche ancienne.

### Biomasse microbienne totale et fixation de l'azote par les organismes non symbiotiques

La biomasse microbienne totale du sol de la jachère ancienne en défens (carbone : 385 µg/g de sol) est significativement supérieure à celle de la jachère récente en défens (292 µg/g de sol). L'activité potentielle de fixation non symbiotique de l'azote est très nettement plus élevée dans la jachère ancienne. En effet, pour l'horizon 0-10 centimètres, la quantité potentielle d'azote fixé par les organismes non symbiotiques est 7 fois plus élevée dans la situation Ja.D que celle mesurée dans Jr.D. Elle représente respectivement 6 et 0,8 kilos d'azote par hectare.

## Discussion

### Amélioration de la teneur en carbone et de la biomasse microbienne

A condition d'éviter toute perturbation par la protection intégrale, la jachère permet d'améliorer sensiblement les teneurs en carbone total du sol. Entre 3 et 17 ans de jachère, la teneur en carbone augmente d'environ 50 %. Cette situation s'explique par le fait que dans la zone soudano-sahélienne, la succession de la végétation post-culturale est une strate herbacée, arbustive puis arborée. Or, l'étude des cycles du carbone, de l'azote et des éléments minéraux dans les savanes souligne l'importance des ligneux

Tableau 3. Richesse spécifique à l'échelle globale (nombre total d'espèces rencontrées) et du transect des peuplements nématologiques. Deux moyennes suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes ( $p < 0,05$ , tests de WILCOXON).

Situation	Numéro transects	Nombre d'espèces	Richesse spécifique à l'échelle du transect
<b>Jachère récente (3 ans)</b>			
Lc.A	1	6	3,77 (0,30) a
Lc.D	2	7	4,53 (0,31) a
Cc.A	3	9	6,47 (0,38) b
Cc.D	4	8	5,94 (0,39) b
<b>Jachère ancienne (17 ans)</b>			
A	7	8	6,18 (0,21) b
A	8	8	7,88 (0,27) c
D	9	8	7,94 (0,31) c
D	10	9	7,82 (0,27) c

dans l'apport de la matière organique, à travers les dépôts de litière et la biomasse racinaire, source d'éléments minéraux (NYE et GREENLAND, 1960 ; MENAUT *et al.*, 1985).

L'augmentation de la teneur en carbone total n'est que de 36 % entre les jeunes jachères et les vieilles jachères non protégées. La mise en défens,

protégeant les parcelles contre le feu, le pâturage et les prélèvements de bois, permet d'accroître la biomasse aérienne produite de 80 % environ (DIATTA, 1994). Mais cette situation ne contribue à augmenter la teneur en carbone total du sol que de 12 % seulement par rapport à la zone non protégée. Ces résultats pourraient

s'expliquer dans la mesure où les prélèvements de biomasse aérienne dans les jachères anthropisées n'influent pas sur le développement du système racinaire, notamment des ligneux qui restent vivants après la coupe des tiges. La biomasse racinaire jouerait un rôle capital dans la dynamique de la matière organique et des minéraux dans les vieilles jachères.

L'enrichissement en matière organique est également à la base de l'accroissement de l'activité microbiologique comme l'indique une amélioration de la biomasse microbienne (30 %) et de l'activité de fixation de l'azote avec le temps de jachère. Matières organiques et activité biologique ont une répercussion sur les qualités physiques du sol. Après immersion dans l'eau, les macro-agrégats augmentent de 50 à 70 % en 15 ans de jachère environ, alors que la quantité d'argile dispersable diminue durant la même période. La porosité totale est parallèlement multipliée par deux.

## Les nématodes : des effets diversifiés

Sur le plan nématologique, l'effet de la jachère est plus difficile à apprécier, puisque la densité globale d'infestation du sol est multipliée par 2. Sur le plan quantitatif, les différences sont beaucoup plus évidentes. Les proportions relatives de *Scutellonema cavenessi* et *Tylenchorhynchus gladiolatus*, présents majoritairement dans les parcelles cultivées, diminuent au profit d'autres espèces, notamment d'*Helicotylenchus dihystra*. Or, cette espèce a la propriété d'atténuer l'effet pathogène du peuplement auquel elle appartient (VILLENAVE *et al.*, 1997). Les conséquences de l'accroissement de la biodiversité nématologique se traduisent par une meilleure croissance du mil en présence de nématodes dans le sol de jachère (CADET et BOIS, à paraître) qui, pourtant, contient beaucoup plus de parasites que le sol cultivé ou les jeunes jachères. Contrairement à la durée de la jachère, la mise en défens n'a qu'une action très secondaire sur le facteur nématologique.

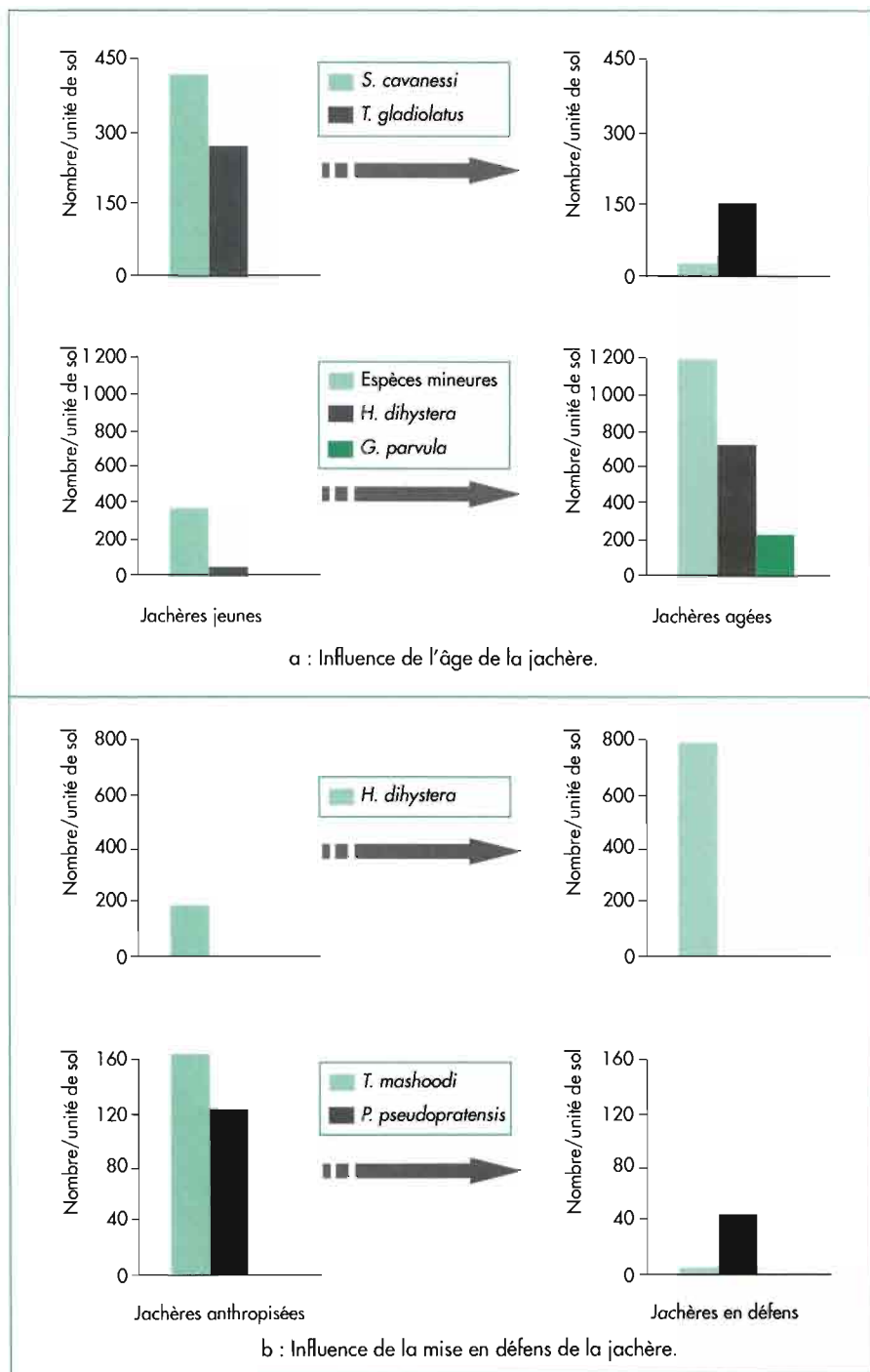


Figure 3. Récapitulation des incidences majeures de la jachère sur l'abondance de certaines espèces de nématodes, mises en évidence par l'analyse triadique.

a : Influence de l'âge de la jachère.

b : Influence de la mise en défens de la jachère.



## Le cas particulier des jachères jeunes

En ce qui concerne les jachères jeunes, trois années de mise en défens n'entraînent pas de modifications majeures des caractéristiques chimiques du sol. Pour les nématodes, la durée du précédent cultural détermine l'incidence de la mise en défens. Si le champ n'a été cultivé que pendant une courte période, la mise en défens fait diminuer l'abondance de certaines populations comme *Pratylenchus pseudopratensis* ou *Tylenchorhynchus mashoodi*. Ces espèces disparaissent lorsque la culture est pratiquée pendant de très nombreuses années, probablement en raison de la disparition d'espèces végétales et en particulier des ligneux (DONFACK *et al.*, 1995).

Cette différence dans l'abondance des ligneux dans les jachères jeunes ne se répercute pas nécessairement sur les teneurs en matière organique. En effet, les premières années après l'abandon de la culture, les arbustes et les herbacées, pour la plupart annuelles, ont une production racinaire peu élevée ; l'apport de matière organique par l'enracinement est restreint et explique le faible impact de la mise en défens ou de l'antécédent cultural dans les jachères de trois ans.

Cependant, des différences sont susceptibles d'apparaître lorsque les herbacées pérennes plus productives en biomasse racinaire s'installent, c'est-à-dire après 5 à 6 ans de jachère (DONFACK, 1993).

## Conclusions : quelles solutions ?

Dans la zone étudiée, l'effet d'une jachère sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols est essentiellement lié à la biomasse végétale produite, donc à la durée de la mise en jachère et au type d'espèces végétales présentes. Une restauration de la qualité agronomique des sols nécessite un temps de jachère beaucoup trop long, qui n'est plus envisageable dans le contexte socio-économique de la zone soudano-sahélienne. La culture continue avec apport d'engrais uniquement sur les productions de rente est devenue la règle dans de vastes régions, à l'image de la zone cotonnière du sud du Mali ou du bassin arachidier au Sénégal. Cette agriculture minière limite non seulement la restauration de la fertilité mais prive également la population des produits des jachères (pâturage, bois de chauffe et bois d'œuvre, produits de cueillette).

Des travaux sont en cours pour définir des pratiques de jachères améliorées ou de substitution. Tenant compte des facteurs écologiques dans le fonctionnement des jachères, ces pratiques doivent privilégier l'introduction de ligneux et d'espèces pérennes à croissance rapide, à forte biomasse racinaire et si possible fixateurs d'azote, qui auront alors un impact sur les caractéristiques bio-physiques des sols. Les jachères améliorées conduiront ainsi à une production durable en permettant de mieux conserver les qualités physiques et biologiques des sols par rapport à la jachère naturelle de courte durée. Cependant, cette jachère améliorée nécessite une intensification de l'ensemble du système de production — amélioration du statut organique et du statut phosphorique des sols, modification de la tenure des terres exploitées. Des soles fourragères et des techniques agroforestières sont testées dans plusieurs pays : par exemple des jachères améliorées à base d'une plante fourragère comme *Stylosanthes hamata* suscitent un fort intérêt des paysans du sud du Mali. Un autre exemple d'application de ces résultats est l'embocagement des terroirs par des haies vives, qui constitueraient des sources de biodiversité nécessaire au maintien du fonctionnement durable des systèmes agro-écologiques.

## Bibliographie

- AMATO M., LADD J.N., 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil biology and Biochemistry* 20 : 107-114.
- BERTRAND R., 1972. Morphopédologie et orientations culturales des régions soudaniennes du Sine Saloum. Cartes (1/100 000). *L'Agronomie Tropicale* 27 : 1 116-1 190.
- CADET P., BOIS J.-F., à paraître. Pathogenic effect of two communities of plant parasitic nematodes on vegetative growth on millet in Senegal (Abstr.). *African Plant Protection*. (Sous presse).
- CASNAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Coll. Didactiques, Orstom, Paris, France, 230 p.
- CHOTTE J.-L., VILLEMIN G., GUILLORÉ G., MONROZIER L., 1993. Morphological aspects of microorganism habitats in a vertisol. In *International Workshop on Soil Micromorphology*, Townsville, Australie, 12-17 juillet 1992. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, p. 395-403.
- DIATTA M., 1994. Mise en défens et techniques agroforestières au Sine Saloum (Sénégal). Effets sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire. Thèse de doctorat, université de Strasbourg I, France, 202 p.
- DONFACK P., 1993. Etude de la dynamique de la végétation après abandon de la culture au Nord-Cameroun. Thèse de doctorat, université de Yaoundé, Cameroun, 172 p.
- DONFACK P., C. FLORET, PONTANIER R., 1995. Secondary succession in abandoned fields of dry tropical Northern Cameroon. *Journal of Vegetation Science* 6 : 199-508.
- FLORET C., PONTANIER R., SERPANTIE G., 1993. La jachère en Afrique tropicale. Dossier MAB n° 16. Unesco, Paris, France, 86 p.
- MENAUT J.-C., BARBAULT R., LAVELLE P., LEPAGE M., 1985. African savannas : biological systems of humification and mineralization. In *Ecology and management of the world's savannas*, TOTHILL J.C., MOTT J.J. (Eds), Australian Acad. Science, Canberra.
- NYE P.H., GREENLAND D.J., 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *Journal of Soil Science* 10 (2) : 284-299.
- OLSSON K., 1984. Long-term Changes in the Woody Vegetation in N. Kordofan, The Sudan. A study with the emphasis on *Acacia senegal*. Rapport och Notiser, Lund, 60. Lunds Universitets Naturgeografiska Institution, Lund., 60 p.
- PALM C.A., SWIFT M. J., WOOLMER P.L., 1996. Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment* 58 (1) : 61-74.
- SCHNINER F., OLHINGER R., KANDELER E., MARGESIN R., 1996. Methods in Soil Biology. Springer Verlag, 426 p.
- SEINHORST J.W., 1962. Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica* 8 : 117-128.
- THIOULOUSE J., CHESSEL D., 1987. Les analyses multitableaux en écologie factorielle. I. De la typologie d'état à la typologie de fonctionnement par l'analyse triadique. *Acta Oecologica, Oecologia Generalis* 8 : 463-480.
- VILLENAVE C., CADET P., PATE E., N'DIAYE N., 1997. Microcosm experiment on development of different parasitic nematode fauna in two soils from the soudanese-sahelien zone of West Africa. *Biology and Fertility of Soil* 24 : 288-293.

## Résumé... Abstract... Resumen

MASSE D., CADET P., CHOTTE J.-L., DIATTA M., FLORET C., N'DIAYE-FAYE N., PATE E., PONTANIER R., THIOULOUSE J., VILLENAVE C. — **Jachères naturelles et restauration des propriétés des sols en zone semi-aride. Cas du Sénégal.**

L'objectif des travaux est d'analyser, dans une zone sahélo-soudanienne fortement peuplée du Sénégal, les effets de jachères naturelles, d'âge et de gestion différents, sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols. Avec une protection totale contre le pâturage et l'exploitation du bois, 15 ans de jachère permettent d'accroître les teneurs en matière organique de 50 %. La porosité totale de l'horizon de surface est multipliée par deux, l'abondance des macro-agrégats s'accroît de 50 à 70 % et la biomasse microbienne totale de 30 %. Quinze années de jachère protégée ne provoquent pas une baisse de la densité globale d'infestation en nématodes phytoparasites, mais modifient la composition spécifique du peuplement. Les jachères anciennes soumises à une forte pression d'exploitation présentent les mêmes tendances, mais montrent des teneurs en matière organique du sol inférieures d'environ 20 % à celles de parcelles protégées. Sur les jachères jeunes (3 années), le temps de culture précédant l'abandon cultural n'a pas d'influence significative sur les paramètres mesurés. Même si elle était réalisable, la jachère naturelle de longue durée ne possède plus les potentialités nécessaires à la restauration de la fertilité du milieu. Il faut s'orienter vers des pratiques de jachères améliorées ou de substitution, en introduisant des ligneux et des graminées pérennes à forte biomasse racinaire et à croissance rapide, qui ont un fort impact sur les caractéristiques biologiques et physiques des sols.

Mots-clés : jachère, analyse de sol, carbone, azote, phosphore, base échangeable, porosité, nématode, biomasse microbienne, Sénégal.

MASSE D., CADET P., CHOTTE J.-L., DIATTA M., FLORET C., N'DIAYE-FAYE N., PATE E., PONTANIER R., THIOULOUSE J., VILLENAVE C. — **Natural fallow and soil fertility restoration in semi-arid zones. Example: Senegal.**

This work is set out to analyse the effects of natural fallow areas of different ages and managed in different ways, on soil physico-chemical and biological characteristics in a densely populated Sahel-Sudanese zone in Senegal. With total protection against grazing and wood exports, 15 years of fallow increased organic matter contents by 50%. The total porosity of the topsoil was doubled and macro-aggregate levels increased by 50-70% and total microbial biomass by 30%. Fifteen years of protected fallow did not lead to a reduction in overall parasitic nematode infestation, but did modify specific population composition. Highly exploited former fallow areas showed the same trends, but soil organic matter contents were around 20% lower than in protected plots. In young fallow plots (three years), the cropping period prior to fallow did not have a significant effect on the parameters measured. Even if feasible, long periods of natural fallow can no longer restore soil fertility on such soils, and it is now necessary to change to improved fallow or substitute crops such as woody species or perennial grasses, which grow fast and have a substantial root biomass, hence have a strong impact on soil biological and physical characteristics.

Keywords: fallow, soil analysis, carbon, nitrogen, phosphorus, exchangeable bases, porosity, nematode, microbial biomass, Senegal.

MASSE D., CADET P., CHOTTE J.-L., DIATTA M., FLORET C., N'DIAYE-FAYE N., PATE E., PONTANIER R., THIOULOUSE J., VILLENAVE C. — **Los barbechos naturales y la restauración de los suelos en zona semi-árida. Caso de Senegal.**

El objetivo de los trabajos es analizar, en una zona sahelosudanesa fuertemente poblada de Senegal, los efectos de barbechos naturales, de edad y de manejo diferentes, en las características físico-químicas y biológicas de los suelos. Con una protección total contra el pasto y la explotación de la madera, 15 años de barbecho permiten incrementar los contenidos de materia orgánica de un 50%. La porosidad total del horizonte de superficie se multiplica por dos, la abundancia de los macro-agregados se incrementa de un 50 a un 70% y la biomasa microbiana total de un 30%. Quince años de barbecho protegido no provocan una baja de la densidad global de infestación de nematodos fitoparasitos, pero modifica la composición específica de la repoblación. Los antiguos barbechos sometidos a una fuerte presión de explotación presentan las mismas tendencias, pero muestran contenidos de materia orgánica del suelo inferiores de aproximadamente un 20% a las de parcelas protegidas. En las jóvenes barbechos (3 años), el tiempo de cultivo que precede el abandono cultural no tiene influencia significativa en los parámetros medidos. Inclusive si se podía realizar, el barbecho natural de larga duración no posee ya las potencialidades necesarias para la restauración de la fertilidad del medio ambiente. Hay que orientarse hacia prácticas de barbechos mejorados o de sustitución, al introducir leñosas y gramíneas perennes de fuerte biomasa radicular y crecimiento rápido, que tienen un fuerte impacto en las características biológicas y físicas de los suelos.

Palabras-claves: barbecho, análisis de suelo, carbono, nitrógeno, fósforo, bases intercambiables, porosidad, nematodo, biomasa microbiana, Senegal.



# Effets induits du paillage post-cultural d'un sol sableux encroûté au Sahel

## Conséquences sur l'amélioration de son fonctionnement hydrique

Le paillage est une technique de conservation de l'eau et des sols connue et utilisée de longue date dans des régions très différentes du monde. Dans le cadre de la restauration de sols dégradés au Niger, des expérimentations ont permis de quantifier l'influence du paillage sur l'infiltration et le stock en eau du sol en différenciant les effets de l'activité des termites, des apports sableux éoliens et de la reprise végétale.

prévention de la dégradation, au sens étroit de dégradation physique de l'état de surface des sols, que leur restauration. Il en est ainsi des deux effets les mieux documentés du paillage sur l'infiltration : la protection du sol de l'impact des gouttes de pluie et le ralentissement de la vitesse du ruissellement.

Lorsque les sols sont déjà dégradés, en particulier déjà encroûtés, ces deux mécanismes sont quasi inopérants. De plus, dans un tel cas, la quantité d'eau dans le sol est très faible et la limitation de l'évaporation ne présente pas un grand intérêt. En présence de sols très dégradés, il faut d'abord favoriser l'infiltration en restaurant leurs propriétés hydrodynamiques. Certains auteurs ont suggéré qu'en milieu tropical, le paillage pouvait jouer un rôle important sur l'infiltration et la régénération du couvert végétal de sols dégradés grâce à des effets indirects : le piégeage de sable et de graines d'origine éolienne et la stimulation de l'activité de la faune du sol, en particulier celle des termites pour qui la paille constitue une source de nourriture. CHASE et BOUDOURESQUE (1987, 1989) ont montré que ces facteurs indirects peuvent être efficaces en matière de régénération d'un couvert végétal sur un sol dégradé, en liaison avec l'amélioration des conditions hydriques. Par ailleurs, un

**I**l s'agit de laisser en place les résidus de récolte ou d'effectuer un apport en quantité variable de résidus végétaux à la surface du champ. Le paillage permet, sous certaines conditions, d'augmenter la quantité d'eau disponible dans le sol en favorisant l'infiltration et en limitant l'évaporation. Dans les régions sèches, l'augmentation du stock d'eau disponible se traduit par une amélioration sensible de la production végétale.

Les mécanismes qui peuvent faire du paillage une méthode efficace de gestion de l'eau sont très variés. Cependant, les processus les plus généraux, qui s'appliquent quelles que soient les conditions climatiques ou pédologiques, concernent plutôt la

J. LEONARD

Orstom, Laboratoire d'informatique appliquée,  
32 avenue Henri Varagnat,  
93143 Bondy cedex, France  
Mél : leonard@bondy.orstom.fr

J.-L. RAJOT

Orstom, BP 11416, Niamey, Niger  
Mél : rajot@niamey.orstom.ne

**Remerciements** — Ce travail a été mené par l'Orstom de Niamey dans le cadre du programme Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest, financé par l'Union européenne (projet 7 ACP RPR 269).

certain nombre de travaux ont été menés en science du sol pour analyser le rôle des termites sur l'infiltration, indépendamment du paillage.

Cependant, les connaissances restent encore incomplètes et dispersées ; elles sont parfois obtenues dans des conditions très éloignées des conditions naturelles et ne permettent pas de prévoir les améliorations à attendre d'un paillage de zones dégradées dans des conditions quelconques.

A Niamey, au Niger, les expérimentations menées depuis 1994 par l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom) ont pour objectif de mieux comprendre et de modéliser l'infiltration de la pluie dans un sol paillé, en prenant en compte l'influence du piégeage de sables éoliens et de l'activité des termites induits par le paillage, dans le cadre de la restauration des sols dégradés dans les jachères. L'objectif final est de prévoir les améliorations à attendre et de mieux gérer ainsi cette pratique.

Nous n'exposerons dans cet article que quelques uns des premiers résultats obtenus, mettant bien en évidence les mécanismes qui interviennent au cours du paillage et qui conduisent à la restauration des sols encroûtés.

## Une expérimentation en milieu naturel sahélien

L'expérimentation a été menée dans une jachère à *Guiera senegalensis*, à proximité du village de Banizoumbou (Niger), au sein d'un environnement typiquement sahélien. La moyenne annuelle des précipitations (1990-1997) est de 500 millimètres, avec une forte variabilité interannuelle et de fortes intensités de pluie : intensité moyenne maximale sur 5 minutes supérieure à 46 mm/h pour 25 % des pluies et intensité moyenne maximale sur 30 minutes supérieure à 25 mm/h pour 25 % des pluies. Le sol ferrugineux tropical sableux à structure massive est typique de la région. Il est couvert de croûtes d'érosion sur une

bonne partie de cette jachère très dégradée. Les propriétés hydrodynamiques de ces sols encroûtés sont très peu variables — coefficient de variation de 33 % pour une pluie de 13 mm et de 17 % pour une pluie de 46,5 mm, au lieu de 50 à 100 % en général (VAUCLIN, 1983) — et peuvent être considérées comme identiques quel que soit le site avant traitement.

Trente sites de 10 mètres carrés environ ont été soumis à deux traitements principaux — c'est-à-dire avec ou sans brise-vent, celui-ci mesurant un mètre de haut et limitant les apports de sables éoliens — et cinq sous-traitements :

- (1) témoin encroûté ;
- (2) paillage + insecticide + herbicide ;
- (3) paillage + insecticide ;
- (4) paillage + herbicide ;
- (5) paillage sans insecticide ni herbicide.

Au cours de l'expérimentation, il est apparu que l'insecticide avait égale-

ment un effet herbicide aux doses utilisées. Ainsi, dans la suite de l'étude, les traitements 2 et 3 ne seront pas distingués. Le paillage, effectué en début de saison des pluies, consiste en un apport de 0,7 kilo de *Ctenium elegans* égrené et de 0,3 kilo de branches de *Guiera senegalensis* par mètre carré. Le choix de cette graminée et de cet arbuste se justifie par leur abondance dans les jachères étudiées au moment de l'implantation du dispositif. Les quantités utilisées conduisent à un recouvrement de plus de 90 % de la surface du sol pour une épaisseur de paille d'environ 3 centimètres. Sur chaque site, une parcelle de ruissellement d'un mètre carré permet d'obtenir les

## Jachères au Niger

C'est sur les sols sableux que repose la totalité de la production de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) au sud-ouest du Niger, en climat sahélien. Le système de culture y est fondé sur l'alternance champ/jachère. Cependant, en raison de la croissance démographique continue, la pression sur les terres agricoles est de plus en plus forte : l'emprise des cultures est passée de 20 % de la surface du terroir en 1950 à 70 % en 1990. Cela conduit, entre autre, à une diminution du temps de mise en jachère. Pendant la période de culture, la surface dénudée de ces sols à la structure fragile est soumise à l'action de vents violents, qui érodent localement l'horizon de surface, et provoquent la formation de croûtes d'érosion (CASENAVE et VALENTIN, 1989). Elles forment des zones nues et stériles propices au ruissellement et à l'érosion hydrique. Ces croûtes ont une infiltrabilité extrêmement faible (1 à 2 mm/h) et une activité biologique inexistante en surface. Sans traitement, le temps de mise en jachère n'est plus suffisant pour restaurer naturellement ces surfaces dégradées qui peuvent couvrir jusqu'à 50 % des jachères (AMBOUTA et al., 1996). Leur réhabilitation par paillage durant la courte période de mise en jachère constitue l'une des réponses que l'on peut apporter au problème de la demande croissante de surface agricole utile. Elle doit être obtenue de façon durable et peu coûteuse.

## Paillage et conservation de l'eau et du sol

Le paillage réduit le ruissellement, augmente l'infiltration et limite l'érosion du sol en dissipant l'énergie cinétique des gouttes de pluie, réduisant ainsi la dispersion des agrégats du sol et l'encroûtement de surface, et en retardant le ruissellement laissant ainsi plus de temps pour l'infiltration de l'eau (PAPENDICK et al., 1990 ; UNGER, 1990). La protection du sol dépend du taux de couverture de celui-ci, et donc de la quantité de paille disponible. Le paillage permet de réduire l'évaporation du sol pendant la première phase de celle-ci (sol humide), en réduisant l'énergie disponible à la surface du sol pour la vaporisation de l'eau et en limitant la circulation de l'air donc les échanges de vapeur avec l'atmosphère (BUSSIERE et CELLIER, 1994). L'effet sur la réduction de l'évaporation augmente avec l'épaisseur du paillage, mais une trop grande épaisseur dans un régime d'averses de faibles volumes conduit à une imbibition du mulch, suivie d'une évaporation, sans que le sol ne soit réhumecté (BUSSIERE et CELLIER, 1993).



volumes de ruissellement après chaque épisode pluvieux et de calculer un coefficient d'infiltration — (pluie – ruissellement) / pluie x 100. Durant la saison des pluies 1997, des guides d'onde ont été installés sur quelques parcelles afin de suivre l'évolution de la teneur en eau volumique dans les 60 premiers centimètres du sol par TDR (Time Domain Reflectometry). Les mesures ont été réalisées tous les deux ou trois jours.

Par ailleurs, une nouvelle surface de 20 mètres carrés a été paillée en 1997 pour les observations pédologiques dans une tranchée creusée en fin de saison. Ce paillage a été réalisé en milieu de saison des pluies de telle sorte que les dépôts éoliens et le développement de la végétation soient minimes et que seul l'effet de l'activité des termites s'exprime.

## Evolution de l'état de surface des sites paillés

Le paillage a été réalisé en début de saison des pluies, aux mois de mai et juin. Ces mois correspondent à la fois à une période d'intense activité de récolte des termites (LEPAGE, 1983) et aux plus forts dépôts éoliens dans les jachères. La plupart des pluies au Sahel sont précédées de vents extrêmement violents qui provoquent une érosion éolienne d'autant plus forte que les sols sableux, particulièrement sensibles, ne sont pas assez couverts par la végétation. C'est le cas des champs cultivés où les taux de recouvrement par les résidus de culture atteignent leur minimum à cette saison, avant le développement du mil récemment semé. En revanche, dans les jachères, les taux de recouvrement restent suffisants pour éviter l'érosion éolienne et les moindres obstacles, comme le paillage, constituent des pièges efficaces pour les sédiments éoliens transportés depuis les champs (BIELDERS *et al.*, 1998). Ainsi, on observe presque dès l'implantation du paillage :

– une forte activité des termites qui se traduit en surface par la présence de

placages de récolte pouvant couvrir la presque totalité des parcelles non traitées à l'insecticide et qui masquent de nombreux pores perforant la croûte d'érosion ;

– des dépôts éoliens sableux d'épaisseur variable sur les parcelles non protégées par un brise-vent, en fonction de la proximité des sources (généralement les champs cultivés).

Il est possible d'opérer un regroupement de parcelles en fonction de leur type d'évolution. Les témoins non paillés ne présentent pas d'évolution. La croûte d'érosion se maintient pendant toute la durée de l'expérience.

Les parcelles paillées avec insecticide montrent une forte convergence morphologique, avec l'absence de développement de végétation, même sans herbicide, l'accumulation et le maintien en place des sédiments éoliens grâce aux pailles qui ne sont pas consommées par les termites. Même sur les parcelles protégées par un brise-vent, on note une accumulation, plus lente, de sédiments éoliens. Cet ensemble de parcelles évolue peu au cours du temps.

Les parcelles paillées avec termites, apports éoliens et végétation se caractérisent par un maintien de l'activité des termites durant toute la période d'étude (même lorsque la paille a complètement disparue) grâce à la consommation de la végétation pionnière. Cette végétation permet aussi la fixation des dépôts éoliens, voire la poursuite de ces dépôts.

Les parcelles paillées avec termites et apports éoliens, mais sans végétation, sont très comparables aux précédentes la première année de traitement. Mais, dès la deuxième année, on observe une diminution de l'activité des termites et une érosion hydrique des dépôts éoliens qui ne sont plus maintenus par la paille, consommée par les termites, ni fixés par la végétation pionnière.

Enfin, les parcelles paillées avec activité des termites, avec et sans herbicide, mais sans apports éoliens, peuvent être regroupées en raison du très faible développement de la végétation pionnière. L'activité des termites, maximale la première année, décroît

jusqu'à devenir nulle, ou très faible, lorsque tout le paillage a été consommé.

## L'activité des termites est le principal facteur d'augmentation de l'infiltration

Les résultats des mesures effectuées quatre années sous pluies naturelles sont présentés dans la figure 1 en fonction des regroupements morphologiques décrits ci-dessus. L'infiltration sur le sol encroûté est très faible et ne représente que 20 % de la pluie en moyenne. L'activité des termites se traduit par une nette augmentation du coefficient d'infiltration dès la première année, d'un facteur 1,5 à 3. L'action des termites semble plus efficace la première année sur les sites protégés du vent. Le développement de la végétation joue par la suite un rôle clef. En absence de végétation, l'activité des termites est progressivement freinée et les coefficients d'infiltration diminuent, alors que la présence de végétation permet le

### Termites et infiltration

L'effet des termites sur l'infiltration a été étudié de différentes manières : sous pluies simulées et fortes intensités (ELKINS *et al.*, 1986 ; MANDO *et al.*, 1996), à l'aide de l'infiltrométrie à tension contrôlée (ELDRIDGE, 1994) qui permet de mettre en évidence l'effet majeur des galeries sur la conductivité hydraulique du sol, ou encore sous charge (OUEDRAOGO, 1997). Les résultats convergent pour donner aux termites un rôle très positif sur l'infiltration, l'améliorant parfois d'un facteur 10 par rapport aux sols témoins. Cependant, les conditions opératoires sont en général très éloignées des conditions naturelles et favorisent fortement l'infiltration en permettant un écoulement saturé dans la macroporosité. Il est probable que le rôle des termites sur l'infiltration a ainsi été surestimé.

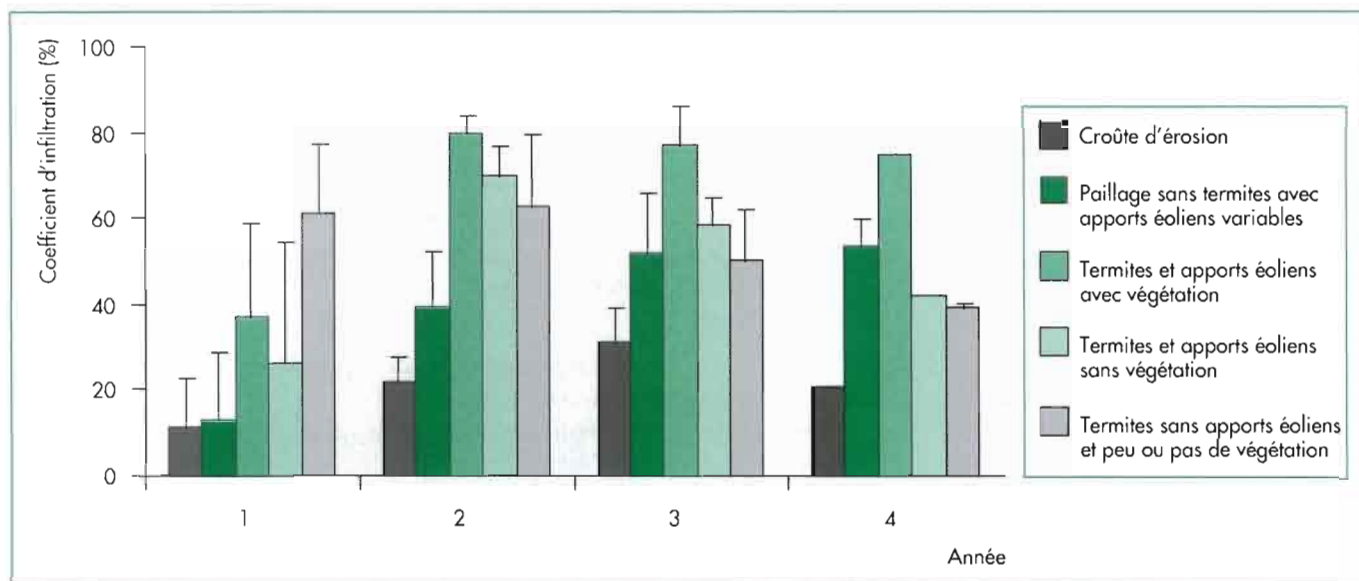


Figure 1. Coefficients d'infiltration observés et écarts types, pour différents groupes de parcelles et sur 4 années consécutives, sous pluies naturelles, sur des parcelles de ruissellement de 1 mètre carré.

maintien de l'activité des termites et donc de forts coefficients d'infiltration, de l'ordre de 80 %, soit 4 fois plus élevés que sur le sol encroûté.

Le paillage sans activité de termites, qui est sans aucun effet la première année, permet une augmentation progressive du coefficient d'infiltration en liaison avec l'accumulation de sables éoliens. L'eau s'infiltre rapidement jusqu'à saturation de ces dépôts sableux peu ou pas encroûtés. Ce stockage intervient essentiellement en début de pluie et est sensiblement proportionnel à l'épaisseur de la couche de sédiments déposée.

## L'effet du paillage sur la teneur en eau du sol est sensible dès les premières pluies

Les besoins en eau de la végétation sont importants dans la phase de croissance, c'est-à-dire en début de saison des pluies (SEGHIERI *et al.*, 1994). Il était donc nécessaire de suivre l'évolution de la teneur en eau du sol sur l'ensemble de la saison des pluies afin de vérifier l'efficacité des traitements, par rapport aux témoins encroûtés, aux moments clés du développement végétal. La figure 2 présente un

exemple de ce suivi pour la saison des pluies 1997, correspondant à la quatrième année après le paillage initial, pour une parcelle témoin encroûtée et une parcelle paillée, sans insecticide, sans herbicide et sans brise-vent.

Il apparaît que, dès le début de la saison des pluies, la quantité d'eau disponible sur la parcelle restaurée permet de soutenir la croissance de la végétation — les premières pousses sont visibles à partir du 15 juin environ. On constate que la teneur en eau des 60 premiers centimètres sur la parcelle paillée ne redevient identique à celle du sol encroûté qu'à la suite de la longue période sèche de trois semaines du mois d'août. Le stock d'eau de ces 60 premiers centimètres se reconstitue très rapidement dès la pluie suivante.

Dans l'exemple précédent, tous les processus sont entrés en jeu pour la restauration de l'infiltration (activité des termites, dépôts éoliens, développement de la végétation). L'étude du site paillé en milieu de saison des pluies 1997 permet de prendre en compte le seul effet de l'activité des termites. La figure 3 montre deux profils hydriques, réalisés à 80 centimètres de distance, qui ne diffèrent que par la présence du paillage réalisé un mois avant le creusement de la fosse d'observation et partiellement consommé par les ter-

mites. La différence de teneur en eau est très marquée et se maintient sur une profondeur de plus de 2 mètres. Le stock d'eau dans la zone paillée est de 214 millimètres, au lieu de 107 seulement dans la zone encroûtée, où il est peu utilisable — teneur en eau proche de la teneur en eau résiduelle. Si l'on fait l'hypothèse, vraisemblable, que le stock hydrique de la zone encroûtée a peu varié durant la période d'observation, la différence de stock entre zone paillée et zone encroûtée (107 mm), rapportée au total pluviométrique de la période considérée (192 mm), permet d'estimer le coefficient d'infiltration dans la zone paillée à 56 %. On remarque en outre que l'augmentation du stock hydrique est effective peu de temps après la mise en place du traitement.

## La reconstitution d'un couvert végétal dense favorisée par les apports éoliens

Il importe de rappeler ici que nous avons utilisé des pailles égrenées, afin de limiter les apports de graines à celles contenues dans les dépôts éoliens. Comme nous l'avons indiqué plus haut, la végétation ne se développe de façon conséquente que sur



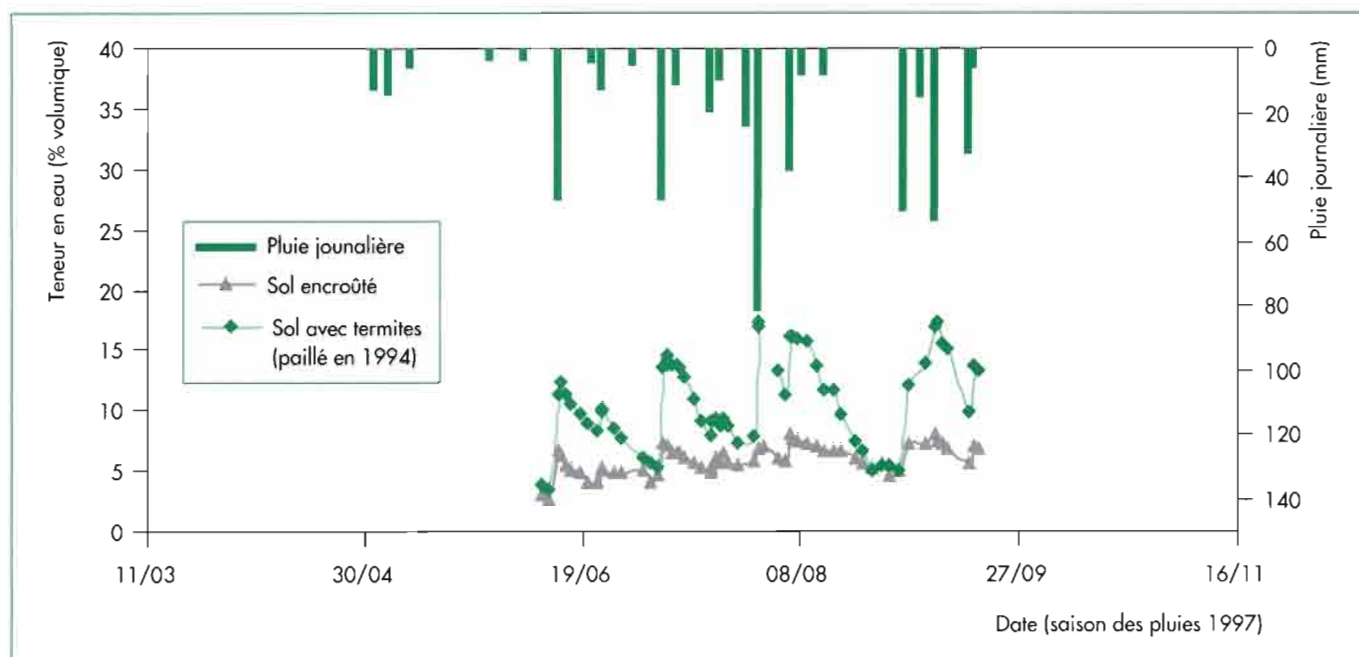


Figure 2. Evolution de la teneur en eau volumique des 60 premiers centimètres de sol, sur une saison des pluies, pour une parcelle témoin encroûtée et une parcelle paillée depuis 3 ans avec activité de termites, végétation et dépôts éoliens.

les parcelles avec apports éoliens dès la fin de la première année. A la fin de l'essai, les parcelles paillées (sans insecticide) non protégées du vent ont un recouvrement végétal tout à fait comparable à celui qui caractérise le milieu non dégradé, autour des croûtes d'érosion (30 % de recouvrement en moyenne) avec une composition floristique voisine. Un dénombrement des graines présentes dans 3 échantillons ( $0,3 \text{ dm}^3$ ) de sol encroûté et 3 échantillons de dépôts éoliens montre qu'il n'y a pas de différence significative pour les quantités de graines, mais que les dépôts éoliens sont significativement plus riches en espèces —  $6,7 \pm 3,1$  au lieu de  $2,3 \pm 0,6$  espèces par échantillon.

L'état des graines semble bien meilleur dans les dépôts éoliens que dans le sol encroûté. Ceci expliquerait pourquoi le développement de la végétation est beaucoup plus faible sur les parcelles avec activité des termites, mais protégées du vent, qui présentent pourtant des conditions hydriques très favorables au moins les deux premières années.

Le développement de la végétation joue un rôle fondamental dans le processus de restauration. L'apport de paille effectué la première année n'est

pas suffisant pour maintenir une activité de termites au delà de deux ans environ. Les parcelles traitées à l'herbicide, donc sans développement de la végétation, montrent une diminution de l'infiltration à partir de la troisième année, particulièrement lorsqu'il n'y a pas de dépôts éoliens. Le maintien de l'activité des termites, et donc de bonnes conditions hydriques, au delà de cette limite approximative,

est alors étroitement lié à la ressource supplémentaire en nourriture que constitue la végétation pionnière. Par ailleurs, la reprise du ruissellement provoque une érosion hydrique des dépôts éoliens qui ne sont pas fixés par la végétation pionnière et donc une rapide dégradation des parcelles où la croûte d'érosion d'origine, plus ou moins perforée par les termites, est parfois de nouveau mise à nue.

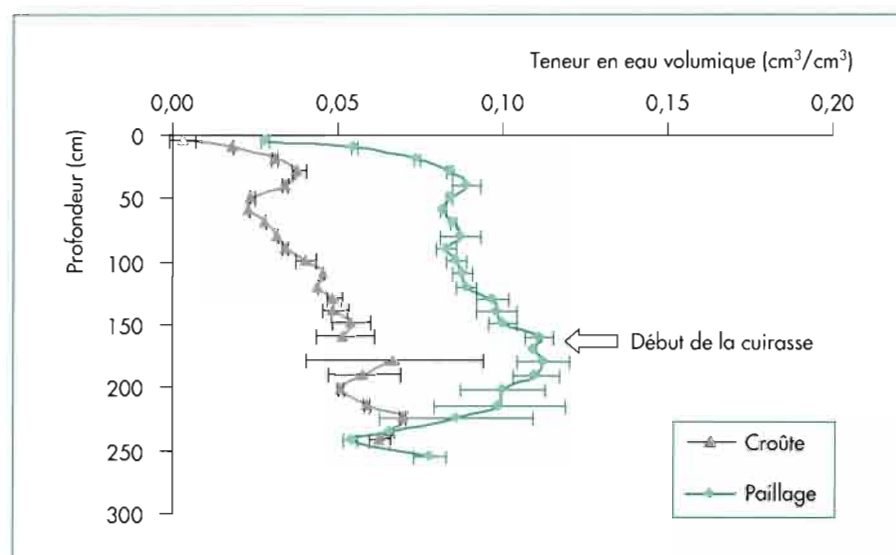


Figure 3. Profils de teneur en eau volumique pour un site témoin encroûté et un site paillé sans végétation ni dépôts éoliens. Le paillage a été effectué un mois seulement avant l'ouverture de la fosse.

## Conclusion

Les premiers résultats mettent en évidence les rôles respectifs de l'activité des termites, de l'accumulation de sables éoliens et du développement de la végétation pionnière sur les propriétés hydriques d'un sol encroûté soumis à un paillage. Suite au rétablissement de conditions hydriques favorables, obtenues très rapidement après le paillage à la faveur du développement des galeries de termites ouvertes à la surface, et grâce à l'apport par le vent d'une plus grande variété de graines fertiles, un couvert végétal dense et diversifié se met progressivement en place. Ce couvert végétal, même restreint, comme après la première année de traitement, permet le maintien de l'activité des termites et donc d'une forte infiltration.

Le rétablissement durable de conditions proches de celles des buttes sableuses qui entourent les zones

dégradées des jachères du Niger, est obtenu en 2 à 3 ans et pour un faible coût, car le paillage n'est réalisé qu'une seule fois, en début de jachère. Ainsi, activité biologique, dépôts éoliens et développement de la végétation sont étroitement associés pour assurer, en zone sahélienne et sur les sols sableux encroûtés étudiés, l'efficacité du paillage comme technique de restauration des propriétés hydriques du sol et d'un couvert végétal. Des quantités faibles de pailles telles que celles fournies par le développement de la végétation naturelle, suffisent pour provoquer l'activité des termites, principal facteur d'amélioration de l'infiltration. Cette observation permet de supposer que, pour restaurer les propriétés hydriques des sols encroûtés du Niger, les quantités de pailles à apporter peuvent être réduites et que la couverture maximale du sol n'est pas à rechercher comme lorsque le paillage est pratiqué dans le seul but de protéger la surface

du sol. D'un point de vue pratique, il semble que l'on puisse recommander un paillage, peu épais mais couvrant, des zones encroûtées, effectué une seule fois en début de jachère, juste avant la saison des pluies de manière à éviter une trop forte activité des termites avant les premières pluies.

Le rôle de la fertilité chimique due à l'activité biologique et aux apports éoliens est en cours d'étude, mais de nombreuses autres questions restent en suspens, particulièrement en ce qui concerne l'utilisation de cette technique dans des conditions différentes de celles du contexte de l'étude (type de sol différent, quantités de pailles disponibles, durées d'application, espèces de termites différentes...). Nous cherchons actuellement à comprendre et à modéliser les mécanismes de base observés afin de généraliser les résultats obtenus au Niger et d'optimiser cette technique selon son contexte d'application.

## Bibliographie

- AMBOUTA J.M.K., VALENTIN C., LAVERDIER M.-R., 1996. Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 7 : 269-275.
- BIELDERS C.L., RAJOT J.-L., KOALA S., 1998. Wind Erosion Research in Niger: The Experience of ICRISAT and Advanced Research Organizations. In SIVAKUMAR M.V.K., ZÖBISCH M.A., KOALA S., MAUKONEN T. (Eds), *Wind Erosion in Africa and West Asia: Problems and Control Strategies. Proceedings of the ICARDA/ICRISAT/UNEP/WMO Expert Group Meeting, 22-25 April 1997, Cairo, Egypt, ICARDA Aleppo, Syria, 198 p.*
- BUSSIÈRE F., CELLIER P., 1993. Interception de la pluie par un mulch de feuilles de canne à sucre (*Saccharum officinarum*) : utilisation d'un dispositif de mesure automatisé pour le test d'un modèle. *Agronomie* 13 (1) : 35-43.
- BUSSIÈRE F., CELLIER P., 1994. Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue mulch: experiment and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 1-28.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Orstom, Paris, France, 229 p.
- CHASE R., BOUDOURESQUE E., 1987. Methods to stimulate plant regrowth on bare Sahelian forest soils in the region of Niamey, Niger. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18: 211-221.
- CHASE R.-G., BOUDOURESQUE E., 1989. A study of methods for the revegetation of barren crusted sahelian forest soils. In ICRISAT (Ed.), *Soil, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian zone*, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger, p. 125-135.
- ELDRIDGE D.J., 1994. Nests of ants and termites influence infiltration in a semi-arid woodland. *Pedobiologia* 38: 481-492.
- ELKINS N.Z., SABOL G.V., WARD T.J., WHITFORD W.G., 1986. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan desert ecosystem. *Oecologia* 68: 521-528.
- LEPAGE M., 1983. Foraging of Macrotermes spp. (Isoptera : macrotermitinae) in the tropics. In JAISON P. (Ed.), *Social insects in the tropics*, université Paris Nord, France, p. 205-218.
- MANDO A., STROOSNIJDER L., BRUSSAARD L., 1996. Effects of termites on infiltration into crusted soil. *Geoderma*, 74: 107-113.
- QUEDRAOGO P., 1997. Rôle des termites dans la structure et la dynamique d'une brousse tigrée soudano-sahélienne. Thèse de doctorat, université Paris 6, France, 282 p.
- PAPENDICK R.I., PARR J.-F., MEYER R.E., 1990. Managing crop residues to optimize crop/livestock production systems for dryland agriculture. *Advances in Soil Science* 13: 253-272.
- SEGHIERI J., FLORET C., PONTANIER R., 1994. Development of an herbaceous cover in a Sudano-Sahelian savanna in North Cameroon in relation to available soil water. *Vegetatio* 114: 175-184.
- UNGER P.W., 1990. Conservation tillage systems. *Advances in Soil Science* 13: 27-68.
- VAUCLIN M., 1983. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. In *Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols*, Avignon, 24-25 juin 1982. Inra, Versailles, France, p. 9-43.



## Résumé... Abstract... Resumen

**J. LEONARD, J.-L. RAJOT — Effets induits du paillage post-cultural d'un sol sableux encroûté au Sahel. Conséquences sur l'amélioration de son fonctionnement hydrique.**

C'est sur les sols sableux que repose la totalité de la production de mil au sud-ouest du Niger, en climat sahélien. Le système de culture y est fondé sur l'alternance champ/jachère. Durant la mise en culture on assiste à la formation de croûtes d'érosion stériles, sous l'action conjuguée du vent et de la pluie. Ces croûtes, presque imperméables à l'eau, se maintiennent longtemps dans les jachères où elles représentent une partie importante de la surface (10 à 50 %). Nous avons testé une pratique traditionnelle de restauration de ces sols encroûtés, le paillage, encore peu utilisée au Niger. Trente parcelles de ruissellement (1 m<sup>2</sup>) furent suivies durant quatre ans (1994-1997), sous pluies naturelles, dans le cadre d'un dispositif expérimental de type split-plot. L'objectif était de quantifier l'influence du paillage sur l'infiltration et le stock en eau en différenciant l'effet de l'activité des termites, des apports éoliens et de la reprise végétale. Les résultats montrent le rôle prépondérant des termites avec une amélioration d'un facteur deux à trois de l'infiltration et une augmentation du stock d'eau dès le début de la saison des pluies. On observe également que les dépôts éoliens favorisent un stockage d'eau à la surface du sol et le développement de la végétation qui, une fois établie, permet de maintenir les processus à l'œuvre en constituant une source de nourriture pour les termites. Il apparaît ainsi qu'un paillage réalisé sur les zones dégradées, après l'abandon du champ, est une pratique très efficace pour régénérer rapidement leur fonctionnement hydrique permettant ainsi de réduire la durée des jachères dans un contexte de pression croissante sur les terres cultivées.

**Mots-clés :** paillage, infiltration, termite, dépôt éolien, restauration du sol, sol encroûté, jachère, sol sableux, bilan hydrique, Niger.

**J. LEONARD, J.-L. RAJOT — The effects of post-harvest mulching on an encrusted sandy soil in the Sahel. Impact on improving water supply capacity.**

All of the millet produced in southwestern Niger, with its Sahelian climate, is grown on sandy soils. The cropping system is based on alternating crops with fallow. On planting, wind and rain erosion causes sterile crusts, which are virtually impermeable to water and persist for some time on fallow land, where they represent a major share of the topsoil (10 to 50%). We tested a traditional way of restoring encrusted soils, mulching, which is not widely used in Niger as yet. Thirty plots subject to runoff (1 m<sup>2</sup>) were monitored for four years (1994-1997), with natural rainfall, in a split-plot type experimental design. The aim was to quantify the impact of mulching on infiltration and water reserves, by differentiating between its effect and those of termites, windborne sand and plant growth. The results demonstrated the dominant role of termites, with a two-to-threefold increase in infiltration and improved water reserves right from the start of the rainy season. We also saw that windborne deposits favoured water storage in the topsoil and plant growth, and that once established, the vegetation maintained the process by providing a food source for termites. Mulching degraded areas after harvesting would thus seem to be a highly effective way of rapidly regenerating their water supply capacity, thus reducing the length of fallow required, in the face of increasing pressure on cultivated land.

**Keywords:** mulching, infiltration, termite, windborne deposit, soil restoration, encrusted soil, fallow, sandy soil, water balance, Niger.

**J. LEONARD, J.-L. RAJOT — Efectos inducidos del empajado post-cultural de un suelo arenoso con incrustación en Sahel. Consecuencias sobre el mejoramiento de su funcionamiento hídrico.**

Es en suelos arenosos que se opoya la totalidad de la producción de mijo en el suroeste de Niger, en clima saheliano. El sistema de cultivo se fundamenta en la alternancia campo/barbecho. Durante la puesta en cultivo se asiste a la formación de incrustaciones de erosión estériles, bajo la acción conjugada del viento y de la lluvia. Estas incrustaciones, casi impermeables al agua, se mantienen mucho tiempo en los barbechos donde representan una parte importante de la superficie (del 10 al 50%). Hemos sometido a prueba una práctica tradicional de restauración de estos suelos con incrustación, el empajado, aún poco utilizado en Niger. Se estudiaron treinta parcelas de arroyada (1 m<sup>2</sup>) durante cuatro años (1994-1997), bajo lluvias naturales, en el marco de un dispositivo experimental de tipo split-plot. El objetivo era cuantificar la influencia del empajado sobre la infiltración y el depósito de agua al diferenciar el efecto de la actividad de los comejenes, de los aportes arenosos eólicos y de la reactivación vegetal. Los resultados muestran el papel preponderante de los comejenes con un mejoramiento de un factor dos a tres de la infiltración y un aumento del depósito de agua a partir del principio de la temporada de lluvias. También se observa que los depósitos eólicos favorecen una provisión de agua en la superficie del suelo y el desarrollo de la vegetación que, una vez establecida, permite mantener los procesos en obra al constituir una fuente de alimento para los comejenes. Asimismo resulta que un empajado realizado en zonas deterioradas, después del abandono del campo, es una práctica muy eficaz para regenerar rápidamente su funcionamiento hídrico permitiendo asimismo reducir el tiempo de barbechos en un contexto de presión creciente en las tierras cultivadas.

**Palabras-claves:** empajado, infiltración, comején, depósito eólico, restauración del suelo, suelo con incrustación, barbecho, suelo arenoso, balance hídrico, Niger.

Recyclage de la biomasse de résidus  
au champ, facilité par la présence  
d'un important effectif de bovins.  
Zone cotonnière du nord du Cameroun.  
*P. Dugué*



Semis du mil en humide.  
Confection des poquets,  
semis de 15-20 grains par trou,  
puis rebouchage des trous  
au pied. Les résidus de culture  
ont piégé les sables éoliens  
qui constituent des zones

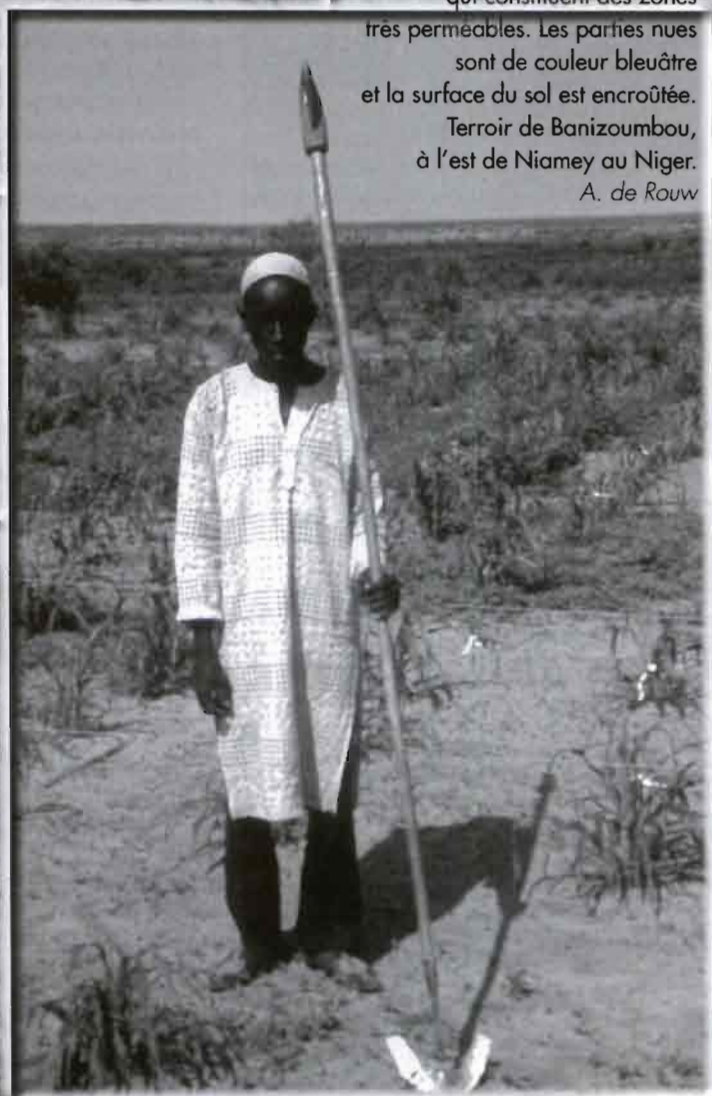
très perméables. Les parties nues  
sont de couleur bleuâtre  
et la surface du sol est encroûtée.

Terroir de Banizoumbou,  
à l'est de Niamey au Niger.

*A. de Rouv*

Les femmes et les hommes  
sarclent à l'aide de l'hilaire.  
Ce travail permet la coupe  
des mauvaises herbes  
et la destruction  
de la croûte superficielle.  
Terroir de Banizoumbou,  
à l'est de Niamey au Niger.

*A. de Rouv*





# Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées

## Bilan minéral (Korhogo, nord Côte d'Ivoire)

Les techniques agroforestières peuvent concilier les contraintes d'une agriculture à faibles intrants avec l'amélioration des ressources paysannes, grâce à l'exploitation de produits provenant des arbres intégrés au système de production (LAUDELOUT, 1990 ; PELTIER, 1990). Il reste toutefois à en analyser, à l'échelle de plusieurs années, l'impact sur le milieu et les conséquences sur la production des cultures, ces données expérimentales étant encore rares (YOUNG, 1995). En Côte d'Ivoire, une expérimentation menée sur trois jachères arborées a permis d'établir un bilan minéral de la sole forestière et d'en évaluer les effets sur la richesse du sol.

**S**i l'intensification de l'agriculture, qui a conduit à des augmentations spectaculaires de productivité en Europe, est techniquement possible, les conditions de sa mise en œuvre ne sont pas réunies dans les savanes de l'Afrique soudano-sahélienne (MADHAVI, 1990). VAN DER POL (1990, 1992) traduisant en termes économiques l'épuisement des sols, indique que le déficit en éléments nutritifs, calculé par référence au prix de l'engrais, représente presque la moitié de la marge brute dégagée par les activités agricoles. Il souligne la nécessité de mettre au point des systèmes de culture durables dégageant des revenus acceptables

pour les paysans. Toutes les solutions visant à économiser les intrants coûteux et à diminuer les exportations inutiles ou non rentables doivent être envisagées pour une production agricole durable.

### Le contexte du nord de la Côte d'Ivoire

La région de Korhogo (figure 1), au nord de la Côte d'Ivoire, en zone de savanes, est fortement peuplée depuis des décennies. Les études de COULIBALY (1978) montrent que seulement 5 % de l'espace est occupé par les jachères contre 85 % par des cultures permanentes. Le manque d'espace n'autorise pas la gestion de la fertilité des sols par la jachère naturelle. Or, dans cette région, il est souhaitable d'observer 1 à 5 années de repos, voire

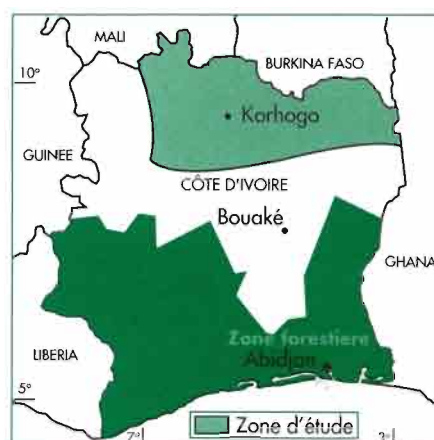


Figure 1. La région de Korhogo en Côte d'Ivoire.

D. LOUPPE

Cirad-forêt/Idefor-dfo, 08 BP 33, Abidjan 08,  
Côte d'Ivoire  
Mél : dominique.louppe@cirad.fr

N'KLO OUATTARA

Idefor-dfo, BP 947, Korhogo, Côte d'Ivoire

R. OLIVER

Cirad-amis, BP 5035,  
34032 Montpellier Cedex 1, France  
Mél : oliver@cirad.fr

plus, selon les conditions édaphiques, pour régénérer la fertilité dans le cas de culture continue (PIERI, 1989 ; YOUNG, 1995). COULIBALY (1995) constate qu'après une vingtaine d'années de culture continue, la mise en jachère ne permet plus une recolonisation rapide de l'espace par les ligneux, faute de souches d'arbres vivantes et de graines viables dans le sol. Dès les années 60, pour lutter contre l'érosion et produire du bois de feu, les autorités ont fait procéder à des plantations d'arbres : *Tectona grandis* L., *Cassia siamea* Lam., *Anacardium occidentale* L. et, 15 ans plus tard, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. et *Gmelina arborea* Roxb. Aujourd'hui, les agriculteurs abattent ces boisements pour installer des cultures en espérant profiter d'une amélioration de la fertilité du sol. Parallèlement, commence à se développer un système agroforestier à jachère artificielle d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn.

Dans cet article, nous nous intéressons à trois types de jachère artificielle arborée : *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia auriculiformis*, *Gmelina arborea*. Nous allons tenter d'en faire le bilan minéral et d'évaluer leurs effets sur la richesse du sol.

## La conduite de l'expérimentation

La station de recherches forestières de Lataha est située à 20 kilomètres au nord-est de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire. Le climat y est de type soudano-guinéen avec des précipitations moyennes voisines de 1 300 millimètres par an, avec de grandes variations interannuelles (figure 2). La saison des pluies dure 5 mois, de début mai à fin septembre, avec un maximum de précipitations en août. La saison sèche, d'octobre à avril, est caractérisée par la présence d'un vent sec, chargé de poussières, l'harmattan. La température annuelle moyenne est de 26,5 °C.

L'étude a été conduite au cours de la saison des pluies 1996, sur des arbres plantés, âgés de six ans. L'objectif est de comparer l'incidence de trois

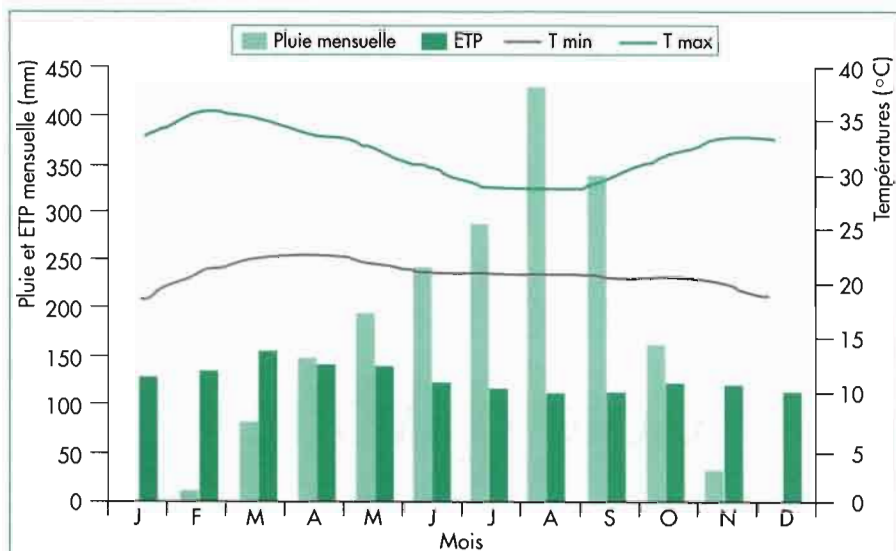


Figure 2. Diagrammes climatiques de la région de Korhogo (données mensuelles moyennes) : température, pluie, évapotranspiration potentielle.

espèces — *Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea* —<sup>1</sup> sur la fertilité du sol et de quantifier les éléments minéraux contenus dans la biomasse aérienne des arbres au moment de leur exploitation.

Les plants issus de pépinière ont été installés en 1990 dans un dispositif en blocs de Fischer à quatre répétitions disposées perpendiculairement à la plus forte pente (2 %) avec un écartement de 1 x 2 m (5 000 plants/ha). Vu la forte densité, le couvert était fermé dès la seconde saison des pluies (à 12 mois) pour toutes les espèces. L'impact de ce peuplement sur la fertilité du sol est certainement plus marqué que celui d'une plantation classique à 950 plants (écartement 3 x 3,5 m). Le sol est présumé homogène en début d'expérimentation car les terrains étaient en culture continue depuis plus de dix ans et laissés en jachère naturelle deux ans avant l'implantation de la jachère artificielle. En 1996, avant exploitation des arbres, des échantillons composites formés du mélange, par parcelle élémentaire, de 5 carottes de l'horizon 0-15 centimètres ont été prélevés pour la caractérisation physico-chimique. Les analyses de sol ont été effectuées selon les techniques usuelles du laboratoire d'analyses du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad, Montpellier, France). Le complexe adsorbant a été

analysé selon la méthode d'ORCINI et REMY (1976) et le phosphore assimilable a été déterminé selon la méthode OLSEN modifiée DABIN (1967). L'azote disponible a été apprécié par incubation selon la technique de WARING et BREMNER (1964).

Pour quantifier la masse minérale aérienne de la jachère et pour tenir compte des variations de taille, quatre arbres par parcelle ont été sélectionnés aléatoirement au sein de quartiles basés sur la circonférence à 1,30 mètre. Ces arbres échantillons ont été repérés sur le terrain et exploités. Chaque organe a été récolté séparément, pesé en vert, et un échantillon prélevé pour la détermination de l'humidité et l'analyse chimique. Seuls les troncs ont fait l'objet de trois prélèvements situés respectivement à 1,30 mètre du sol, dans le tiers médian et dans le tiers supérieur de l'arbre. Les échantillons secs, d'un volume minimum de 500 millilitres, ont été entièrement broyés pour passer au tamis de 40 mesh (0,42 mm) et analysés selon les techniques normalisées en usage dans les laboratoires du Cirad.

Des équations ont été établies pour corréler la circonférence de l'arbre à 1,30 mètre à la quantité d'écorce, de bois, de branches vivantes ou mortes (élagage naturel) et de feuilles. D'autres équations relatives à la masse minérale

1. Pour simplifier le texte, nous parlerons d'acacia, d'eucalyptus et de gmelina.



ont également été construites. Elles ont permis de calculer les quantités d'éléments mobilisés par chaque partie de l'arbre.

## Résultats et discussion

### Caractéristiques physico-chimiques des parcelles selon l'espèce ligneuse

La station de Lataha est située dans une zone de sols ferrugineux tropicaux dont les critères de fertilité sont surtout définis par la position dans la toposéquence. La présence d'un horizon gravillonnaire en profondeur assure des conditions de drainage satisfaisantes, mais peut aussi accentuer les éventuels stress hydriques et favoriser les pertes par lixiviation. Dans le cas de l'essai jachère arborée, cette position, en limite de bas glacis, se traduit par des sols généralement favorables aux cultures. Les critères de fertilité physico-chimiques des sols en fin de jachère sont présentés dans le tableau 1.

La texture de l'horizon de surface est limono-sableuse et en moyenne homogène. Le pH est proche de la neutralité et les teneurs en éléments échangeables sont assez faibles mais non limitantes. Les teneurs en phosphore assimilable sont très faibles. Des différences significatives entre traitements existent pour le potassium échangeable avec des teneurs nettement plus faibles pour les parcelles sous *gmelina arborea*, dont la teneur est proche du seuil de déficience. Contrairement aux données de la littérature, la présence des eucalyptus ne s'accompagne pas d'une acidification, malgré une teneur inférieure en magnésium échangeable. Cette observation corrobore celles faites par PELTIER (1988) au nord du Cameroun. On notera aussi l'important enrichissement en azote des parcelles sous acacia — de l'ordre de 400 kilos par hectare par rapport aux eucalyptus et de 150 kilos par rapport à gmelina — qui ne s'accompagne pas de teneurs statistiquement plus élevées en carbone total. Cet enrichissement en

azote est le fait de la fixation de l'azote atmosphérique par la symbiose *Acacia* - *Rhizobium*. On retrouve cet effet de la présence des acacias sur l'azote disponible apprécié par une incubation de courte durée selon la méthode de WARING-BREMNER.

### Exploitation de la jachère

#### Biomasse aérienne

Les trois espèces arborées (tableau 2) ont produit des quantités variables de matière sèche aérienne : 59 tonnes par

Tableau 1. Analyses de sol (valeurs moyennes) sous les peuplements âgés de 6 ans d'*Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea*.

	<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Gmelina arborea</i>
<b>Granulométrie (%)</b>			
Argiles	17,3	16,1	15,7
Limons	5,4	4,2	4,4
Limons grossiers	7,7	6,3	7,4
Sables fins	23,3	24,0	29,9
Sables grossiers	46,3	49,5	42,5
<b>Matière organique</b>			
Matière organique (%)	1,99	1,69	1,85
Carbone organique (%)	1,16	0,98	1,07
Azote total (mg/g)	0,94 a	0,75 b	0,87 ab
N disponible* (mg/kg)	42,0 a	29,4 b	27,9 ab
Rapport C/N	12,4	13,2	12,3
<b>P. assimilable</b>			
Olsen-Dabin (mg/kg) P	10,5	10,9	8,6
<b>Complexe absorbant (cmol.eq/kg)</b>			
Ca échangeable	2,94	2,89	2,60
Mg échangeable	1,03 a	0,86 b	0,90 b
K échangeable	0,21 a	0,20 a	0,13 b
Na échangeable	0,03	0,03	0,02
Mn échangeable	0,03	0,02	0,03
Somme (Ca, Mg, K, Na)	4,22	3,97	3,64
CEC	4,37	3,75	3,80
Somme/CEC (%)	96,4	-	95,0
<b>pH</b>			
pH eau	6,31	6,71	6,39
pH KCl	5,38	5,79	5,33

\* N disponible selon la méthode Waring-Bremner.

Deux valeurs affectées de la même lettre sur une même ligne ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à P = 0,05. Les différences non significatives ne sont pas indiquées.

Tableau 2. Caractéristiques dendrométriques et production de matière sèche sur pied de trois jachères arborées âgées de 6 ans.

Observations	<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Gmelina arborea</i>	Moyennes
Densité (plants/ha)	2 830 b	3 997 ab	4 871 a	3 900
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	10,83	15,35	19,72	15,30
Volume (m <sup>3</sup> /ha)	57,73	88,43	82,32	76,16
Poids sec tiges (kg/ha)	39 285	59 565	63 475	54 108
Poids branches (kg/ha)	10 600 a	3 658 b	7 944 ab	7 406
Poids feuilles (kg/ha)	4 661 a	3 187 a	865 b	2 904
Biomasse totale (kg/ha)	58 512	66 410	79 579	68 167

Deux valeurs affectées de la même lettre sur une même ligne ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à P = 0,05. Seules les différences significatives sont indiquées.

hectare pour les acacias, 66 pour les eucalyptus et 80 pour gmelina. Ces différences apparemment liées aux taux de survie, respectivement de 56,6, 79,9 et 97,4 %, ne sont pas statistiquement significatives. En revanche, ces espèces montrent une grande variabilité spécifique et significative de branchaison et de feuillage. Ainsi, à 6 ans, les proportions de biomasse sur pied des branches et des feuilles sont les suivantes : acacias, 18,1 et 8,0 % ; eucalyptus, 5,5 et 4,8 % ; gmelina, 10,0 et 1,1 %.

La mortalité naturelle diffère selon les espèces. Les acacias sont les plus sensibles à la concurrence intraspécifique, avec 43 % de perte à 6 ans. Gmelina supporte les densités les plus élevées sans mortalité post-plantation. Les productions en volume de bois de plus de 3 cm de diamètre sur écorce observées ici (acacia 9,6 m<sup>3</sup>/ha/an ; eucalyptus 14,7 ; gmelina 13,7) sont supérieures à celles que l'on peut attendre au même âge sur le même site, en raison de la forte densité de plantation. Pour *Eucalyptus camaldulensis*, par exemple, la production de bois est de 30 % supérieure à celle d'un peuplement à 950 plants par hectare, situé à proximité de l'essai (LOUPPE et OUATTARA, 1996).

Malgré la densité de plantation élevée, la production de bois est en accord avec les données citées par DOUAY (1956) et BOULET-GERCOURT (1977) pour Gmelina. Pour les acacias, elle se situe environ au tiers de la production mesurée en zone forestière de Côte d'Ivoire (GNAHOVA, 1993) — où les conditions de fertilité et de climat sont bien meilleures — mais du même ordre de grandeur que les productions citées par MATHIEU *et al.* (1993).

La phénologie des différentes espèces explique les variations de biomasse foliaire, notamment pour gmelina qui était en début de feuillaison au moment de l'abattage. Le port spécifique conduit ces trois espèces à produire plus ou moins de petites branches. Celles-ci peuvent avoir des conséquences directes sur la fertilité des sols selon leur devenir lors de l'exploitation et de la préparation des sols pour la remise en culture.

## Quantité d'éléments minéraux contenus dans la biomasse aérienne

Ces différences de production tant en biomasse qu'en répartition pondérale entre les fractions (organes) sont complétées par des variations de teneurs en éléments minéraux des diverses parties aériennes des arbres (tableau 3).

Les différences de composition entre espèces pour un même organe sont le plus souvent significatives. Les teneurs en azote sont systématiquement plus élevées pour les acacias. Selon des observations faites en pépinière à Korhogo (OUATTARA, 1989), cette espèce nodule très bien avec les souches locales de *Rhizobium* et 96 % de ceux-ci sont efficaces. En revanche, l'importance de la fixation symbiotique dans nos conditions expérimentales n'a pas encore été quantifiée ni présentée.

La hiérarchie des teneurs montre que les feuilles sont l'organe qui présente généralement la plus forte concentration en éléments minéraux, mais pas systématiquement :

- pour *Acacia auriculiformis*, le calcium se concentre dans l'écorce ainsi que, à un niveau deux fois moindre, dans les branches et le bois mort ;
- pour *Eucalyptus camaldulensis*, le phosphore est abondant dans l'écorce et dans les fruits, le potassium dans les fruits, le calcium et le magnésium dans l'écorce ;
- pour *Gmelina arborea*, le potassium est abondant dans les fruits et le calcium dans l'écorce.

L'écorce apparaît, pour toutes les espèces, comme un organe important de stockage préférentiel de certains éléments majeurs. Elle constitue d'ailleurs une part non négligeable de la tige principale : acacia 15,6 % du

Tableau 3. Teneurs moyennes (% de matière sèche) en éléments minéraux majeurs des différentes fractions des trois espèces étudiées.

Teneurs moyennes	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
<b>Bois</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	0,278 a	0,022 b	0,212 b	0,124	0,014 b
<i>E. camaldulensis</i>	0,192 b	0,042 a	0,164 b	0,134	0,019 b
<i>G. arborea</i>	0,213 b	0,024 b	0,354 a	0,210	0,041 a
<b>Ecorce</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	1,150 a	0,070 b	0,454 c	1,378	0,031 b
<i>E. camaldulensis</i>	0,339 b	0,162 a	0,654 b	1,506	0,192 a
<i>G. arborea</i>	0,515 b	0,042 b	0,941 a	1,137	0,236 a
<b>Bois sec</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	0,486 a	0,030 b	0,166 b	0,638 b	0,026 c
<i>E. camaldulensis</i>	0,295 b	0,061	0,413 a	0,768 a	0,059 b
<i>G. arborea</i>	0,283 b	0,016 b	0,350 a	0,522 b	0,079 a
<b>Branches vertes</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	0,684 a	0,071	0,382 b	0,721 b	0,057 c
<i>E. camaldulensis</i>	0,333 b	0,064	0,488 b	0,848 a	0,075 b
<i>G. arborea</i>	0,397 b	0,060	0,793 a	0,508 c	0,106 a
<b>Feuilles</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	2,530 a	0,146 b	1,509	0,831 b	0,188
<i>E. camaldulensis</i>	1,242 c	0,102 c	1,338	1,400 a	0,229 b
<i>G. arborea</i>	2,098 b	0,191 a	1,483	1,049 b	0,463 a
<b>Fruits</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	0,943	0,026 b	0,648 b	0,329 ab	0,098
<i>E. camaldulensis</i>	0,839	0,118 a	1,292 a	0,703 a	0,151
<i>G. arborea</i>	0,667	0,136 a	1,469 a	0,135 b	0,117

Les valeurs affectées de la même lettre sur un même groupe de 3 dans la même colonne ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à P = 0,05. Seules les différences significatives sont indiquées.

Description des fractions. Bois : bois de la tige principale sans écorce. Ecorce : écorce de la tige principale. Feuilles : feuilles encore sur l'arbre après abattage. Branches : branches vivantes de diamètre inférieur à 3 cm avec écorce. Bois mort : branches mortes en cours d'élagage naturel. Fruits : fruits encore sur l'arbre.



poids sec ; eucalyptus 17,2 et gmelina 13,2 %.

Certains auteurs font le rapprochement entre les compositions minérales des litières et les parties aériennes des arbres, d'une part, et la composition chimique de l'horizon de surface, d'autre part. Ainsi, DRESCHÉL *et al.* (1991) attribuent en partie l'acidification qu'ils constatent sous *Acacia auriculiformis* à la faible biodégradabilité de litières riches en calcium.

L'association des données de production sur pied à 6 ans et des résultats d'analyses minérales permettent d'estimer la masse minérale aérienne des trois espèces juste avant leur exploitation (tableau 4). Bien que les biomasses soient différentes, l'azote est nettement plus abondant pour les acacias, le phosphore pour les eucalyptus, le potassium et le magnésium pour gmelina. L'abondance de cations chez cette dernière espèce est peut-être à rapprocher de la composition du complexe adsorbant appauvri significativement en potassium.

Lors de l'exploitation de la jachère arborée, les troncs vraisemblablement non écorcés seront valorisés (perches, bois de feu) ainsi d'ailleurs que les grosses branches (bois de feu, charbon). De plus, lors de la remise en culture, les résidus d'exploitation des arbres seront vraisemblablement brûlés comme le souligne PELTIER (1991). Une grande quantité de matière organique et d'azote ainsi qu'une partie du phosphore seront alors perdus. Le bénéfice à court terme prépondérant pour le paysan réside dans le contrôle de l'acidité et la disponibilité immédiate en éléments nutritifs qui sont la base du système défriche-brûlis.

#### Efficiences minérales des trois espèces

Les quantités d'éléments minéraux nécessaires à la production d'une unité de produit (tonne de bois) sont présentées au tableau 5.

*Acacia auriculiformis* est l'espèce qui demande le moins d'éléments minéraux pour produire une tonne de bois avec écorce, sauf pour l'azote mais une

Tableau 4. Quantités (kg/ha) d'éléments minéraux majeurs accumulées dans les parties aériennes des trois espèces étudiées au moment de l'abattage.

Espèce/partie	N	P	K	Ca	Mg
<i>A. auriculiformis</i>					
Tronc*	134,4	9,6	81,7	103,5	5,4
Feuilles	95,6	5,5	57,0	31,4	7,1
Branches	69,7	6,6	32,6	61,8	4,1
Bois mort	22,1	1,4	7,6	29,0	1,2
Total	321,5	23,1	178,7	225,3	17,7
<i>E. camaldulensis</i>					
Tronc	119,8	31,8	126,8	182,5	24,4
Feuilles	41,5	3,1	41,2	43,1	7,1
Branches	10,3	1,8	14,1	24,9	2,4
Total	171,5	36,8	182,0	250,3	33,9
<i>G. arborea</i>					
Tronc	148,1	15,6	252,2	195,3	39,1
Feuilles	16,8	1,5	11,9	8,4	3,7
Branches	29,2	4,4	58,4	37,4	7,8
Bois mort	19,1	1,1	35,2	35,2	5,3
Total	213,2	22,7	357,5	276,3	55,9

\* Tronc : comprend l'écorce et le bois de la tige principale. *E. camaldulensis* n'a pas de bois mort sur pied en raison de la rapidité de son élagage naturel.

Tableau 5. Efficience des espèces : quantité d'éléments minéraux nécessaires à la production d'une tonne de bois ou d'une tonne de biomasse (kg/t de matière sèche).

	N	P	K	Ca	Mg
<b>Éléments nécessaires à la production d'une tonne de bois</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	3,42	0,24	2,08	2,63	0,14
<i>E. camaldulensis</i>	2,01	0,53	2,13	3,06	0,41
<i>G. arborea</i>	2,33	0,25	3,97	3,08	0,62
<b>Éléments nécessaires à la production d'une tonne de biomasse</b>					
<i>A. auriculiformis</i>	5,49	0,40	3,05	3,85	0,30
<i>E. camaldulensis</i>	2,58	0,55	2,74	3,77	0,51
<i>G. arborea</i>	2,68	0,28	4,49	3,47	0,70

grande partie de cet élément provient certainement, dans ce cas, de la fixation symbiotique de  $N_2$ . Pour la biomasse totale, Cette espèce n'est pas la plus économe en éléments minéraux. Cependant, au moment de l'exploitation, elle les restitue au sol mieux que les deux autres espèces : elle présente donc le meilleur rapport amélioration de la fertilité/production de bois.

#### Restitutions minérales au sol lors de l'exploitation de la jachère

La gradation dans les restitutions potentielles au sol selon le devenir des diverses parties des arbres est illustrée par la figure 3 — les restitutions présentées ici sont celles au moment de l'exploitation de la jachère ; les retombées de litière au cours de la vie du peuplement ne sont pas prises en

compte. On y remarque la part importante que peuvent prendre les écorces, si l'on écorce les perches sur les parcelles avant de les commercialiser.

Ces valeurs ne sont qu'un ordre de grandeur, compte tenu de l'imprécision de l'estimation du taux d'écorce. Néanmoins, elles montrent qu'il est souhaitable de laisser l'écorce sur place après l'exploitation du bois. Après exploitation de la jachère forestière et exportation du bois, les restitutions ne représentent guère que deux ou trois campagnes d'apport d'engrais aux doses recommandées pour la région. Le bénéfice majeur pour le sol se trouve plus certainement dans les apports de cations alcalino-terreux, généralement peu présents dans les engrais, qui permettent de retarder les processus d'acidification.

## Litières et racines

L'effet de la jachère arborée sur les sols ne se résume pas aux seules restitutions minérales à l'abattage. Les retombées au sol par la litière jouent aussi un rôle considérable tout comme les retours provenant des racines.

La matière sèche des litières a été mesurée pendant les onze mois précédant l'exploitation :

- sous les acacias, 6,7 tonnes par hectare, dont 9 % de fruits et 14 % de branches ;
- sous les eucalyptus, 6,2 tonnes par hectare, dont 39 % de branches ;
- sous gmelina, 5,8 tonnes par hectare, dont 92 % de feuilles et 5 % de fruits.

On ne peut pas attribuer aux litières les compositions minérales des produits analysés lors de l'exploitation de la jachère forestière, car il a été observé que leur composition variait assez largement au cours de l'année ; pour certaines espèces, dont les acacias australiens, la translocation des éléments est très active au cours de la période de sénescence des feuilles (OLIVER et GANRY, 1994 ; HARMAND, 1997). De ce fait, les restitutions annuelles par les chutes de litière peuvent être estimées à environ 40 à 70 kilos d'azote, 35 à 60 kilos de potassium et 4,5 à 5,5 kilos de phosphore par hectare, dès que le couvert est fermé, c'est-à-dire après 3 ans. Une part certainement non négligeable des éléments minéraux entre d'ailleurs dans un cycle fermé prélèvement-restitution, où les seuls apports positifs proviennent des remontées par les racines à partir des couches profondes du sol.

Les racines, qui n'ont pas été analysées, représentent une biomasse souterraine importante jouant à la fois un rôle sur la richesse chimique du sol et sur sa structuration. Au cours de la saison des pluies précédant l'abattage des arbres, les biomasses racinaires ont été mesurées dans l'horizon 0-30 centimètres. Elles augmentent au cours de la saison des pluies pour diminuer dès le retour de la saison sèche. A leur maximum, elles atteignent 10 tonnes par hectare pour les

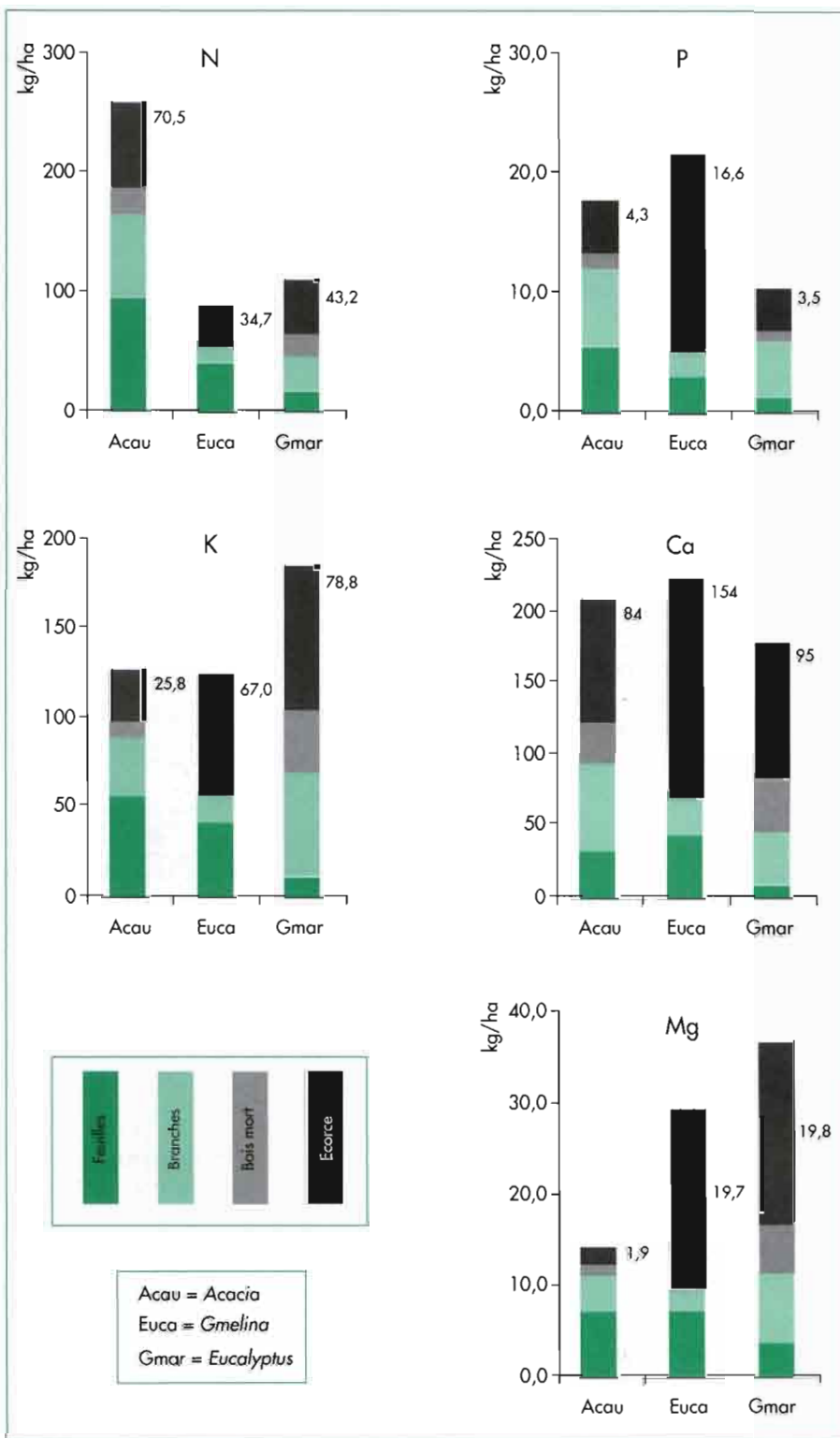


Figure 3. Restitutions potentielles au sol par l'exploitation de la sole arborée (kg/ha). Les restitutions spécifiques aux écorces figurent en regard des diagrammes correspondants.

acacias, 8 pour les eucalyptus et 11 pour gmelina.

En dehors des restitutions instantanées liées à l'exploitation du peuplement forestier, le principal bénéfice pour le

sol de la mise en jachère améliorée résulterait de l'enrichissement en matière organique par l'intermédiaire des retombées de litière et par le système racinaire des arbres (HARMAND, 1997). Cet enrichissement



annuel en matière organique de l'horizon de surface serait de l'ordre du milligramme par gramme avec, dans le cas des légumineuses arborées, un gain supplémentaire en azote par fixation symbiotique.

### Effets sur du maïs cultivé après jachère

Les premiers résultats obtenus sur une culture de maïs installée sur les parcelles montrent, dans le cas où la culture est effectuée sans aucun apport d'engrais, des différences de production importantes selon les espèces de la jachère arborée (tableau 6).

*Acacia auriculiformis* est la seule jachère permettant une production acceptable pour l'agriculteur. On peut partiellement l'expliquer par les restitutions importantes d'éléments minéraux au sol, notamment en azote. Les différences entre les deux autres espèces ne sont pas significatives et les niveaux de production sont trop bas pour être discutés. On notera toutefois que le brûlis, qui accélère la minéralisation de la matière organique restant sur le terrain après exploitation des arbres, augmente la production agricole de la première année de culture. La sensibilité du maïs au précédent jachère arborée observée ici semble d'ailleurs supérieure aux effets constatés dans le cas de jachères herbacées pâturées à *Panicum maximum* et *Stylosanthes amata* (ZOUMANA *et al.*, 1994).

## Conclusion

Dans un système de cultures à faibles intrants, comme celui pratiqué dans le nord de la Côte d'Ivoire, la jachère arborée apparaît nécessaire au maintien de la fertilité des sols et à la durabilité des productions agricoles. Les jachères naturelles longues ne sont

plus possibles en raison de trop fortes pressions sur les terres, liées à la démographie, à la modernisation des outils et à l'extension des cultures de rente. La jachère arborée artificielle de courte durée semble être une solution prometteuse, d'autant plus que les agriculteurs sont demandeurs de techniques aptes à restaurer rapidement la fertilité de leurs sols épuisés par de trop longues périodes de culture continue.

La présente étude a été conduite sur un terrain délaissé par les agriculteurs car trop improductif. Elle montre qu'une jachère arborée monospécifique a un impact différent sur le sol selon l'arbre planté. La capacité d'absorption des éléments minéraux ainsi que les restitutions au moment de l'exploitation diffèrent en fonction de l'espèce. Dans le cas de l'azote, on observe un enrichissement important du sol sous la légumineuse *Acacia auriculiformis* du fait de la fixation symbiotique de cet élément. Cela se traduit, en première culture, par un accroissement net du rendement du maïs par rapport aux productions après *Eucalyptus camaldulensis* ou *Gmelina arborea*.

Ces résultats conduisent à penser que, dans le cas de jachères composées par un plus grand nombre d'espèces, l'impact serait plus limité. Une jachère naturelle pourra être d'autant plus performante qu'elle contiendra un nombre important d'espèces fixatrices d'azote dont l'exploitation n'exportera que peu d'éléments minéraux. Cette efficacité sera aussi liée à l'intensité et au mode d'exploitation de l'espèce.

Pour un impact maximal sur la composition chimique des sols, il est indispensable de laisser sur place le plus d'organes riches en éléments minéraux : les feuilles, les branches fines et l'écorce. Même dans ces conditions,

l'amélioration du sol dépendra de l'espèce, car chaque essence utilise les éléments de façon différente et les distribue inégalement entre ses organes.

Sur le plan des caractéristiques chimiques du sol, la jachère arborée artificielle de courte durée n'apparaît pas être un remède pertinent à la dégradation des sols soumis à une agriculture continue, même extensive. En revanche, cette jachère va créer un environnement plus favorable à l'activité biologique du sol (OUATTARA *et al.*, 1998) : limitation de l'ensoleillement du sol, meilleurs statuts hydrique et organique. Cette activité biologique ne peut qu'améliorer la structuration du sol, sa capacité d'absorption des eaux de pluies et la transformation de la matière organique. Ainsi, l'humus amélioré permettrait une meilleure disponibilité des éléments minéraux pour les plantes et l'alimentation en eau serait moins limitante. Cette dernière hypothèse, à savoir que l'amélioration agronomique d'un sol ne résulte pas seulement d'un enrichissement chimique mais aussi d'une meilleure activité biologique, est l'objet d'une étude en cours.

Les revenus qu'il sera possible de tirer de l'exploitation de la jachère arborée et la continuité dans l'occupation des terres par l'agriculteur sont des facteurs incitatifs pour diffuser de tels systèmes.

## Bibliographie

BOULET-GERCOURT M., 1977. Monographie du *Gmelina arborea*. Bois et Forêts des Tropiques 172 : 3-23.

COULIBALY S., 1978. Le paysan sénégalais. Les nouvelles éditions africaines, Abidjan, Côte d'Ivoire, Dakar, Sénégal, 245 p.

COULIBALY I., 1995. Place de la jachère naturelle dans le contexte socio-économique de deux villages sénégalais : Kapounon et Lavononkaha. Mémoire de fin d'études, Ensa, Idefor-dfo, Yamoussoukro, Korhogo, Côte d'Ivoire, 94 p.

LAUDELOUT H., 1990. La jachère forestière sous les tropiques humides. Université catholique de Louvain la Neuve, Belgique, 85 p.

DOUAY J., 1956. *Gmelina arborea* (Roxb.). Monographie. Bois et Forêts des Tropiques 48 : 25-38.

DRESCHER P., GLASER, B., ZECH W., 1991. Effect of four multipurpose tree species on soil amelioration during tree fallow in central Togo. Agroforestry system 16 : 193-202.

Tableau 6. Rendements moyens d'une culture de maïs (en t/ha) après exploitation d'une jachère arborée de 6 ans (maïs grain à 15 % d'humidité, en t/ha). Korhogo, Côte d'Ivoire, 1996.

Résidus d'exploitation traités en	<i>A. auriculiformis</i>	Précédent arboré <i>E. camaldulensis</i>	<i>G. arborea</i>
Mulch	1,05	0,24	0,46
Brûlis	1,74	0,48	0,73

GNAHOA G.M., 1993. Effets des jachères arborées sur l'état de fertilité des sols en zone de forêt de moyenne Côte d'Ivoire. Mémoire de DESS, université de Créteil, France, 96 p.

HARMAND J.-M., 1997. Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. Thèse de doctorat, université Paris VI, France, 213 p.

LOUPPE D., N. OUATTARA, K. OFFI, 1992. Station Kamonon Diabaté, protocoles expérimentaux et comptes rendus d'installation des essais de 1988 à 1991. Idefor-dfo, Korhogo, Côte d'Ivoire, np.

LOUPPE D., OUATTARA N., 1996. Essai Korhogo 88-01. Sélection des provenances d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Bilan à 8 ans. Rapport interne Idefor-dfo, Abidjan, Côte d'Ivoire, 13 p.

MADHAVI G., 1990. Les conditions d'une généralisation de l'utilisation des engrais. Le point de vue d'un opérateur du développement agricole. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 465-470.

MATHIEU L., BOCK L., BALDE D., DETRAUX, M., HENQUIN B., TERNEUS A., 1993. Réflexions sur le rôle des arbres dans les systèmes agroforestiers potentiels en cours d'élaboration au Fouta-Djalon (République de

Guinée). In Sustainable land management in african semi-arid and subhumid regions, F. GANRY et B. CAMPDELL (éditeurs), Proceedings of the SCOPE Workshop, 15-19 novembre 1993, Dakar, Sénégal. Collection Colloques, Cirad, Montpellier, France, p. 37-51.

OLIVER R., GANRY F., 1994. Etude des modifications de fertilité induites par une jachère arborée. cas de la zone forestière de centre Côte d'Ivoire. Rapport de fin d'études MRT, Cirad-ca, Montpellier, France, 27p.

OUATTARA N., 1989. Inoculation artificielle d'*Acacia auriculiformis* et *Casuarina equisetifolia*. Observations sur des plants âgés de cinq mois, campagne de pépinière 1989. Cirad-forêt, Korhogo, Côte d'Ivoire, 20 p.

OUATTARA N., BALLE P., LOUPPE D., 1998. Rôle des macro-invertébrés du sol dans la conservation et la restauration de la fertilité des sols en zone de savanes soudano-guinéenne. Cas particulier des vers de terre et des termites. Sous presse.

PELTIER R., EYOG MATIG O., 1988. Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques 217 : 3-31.

PELTIER R., 1990. L'arbre dans les terroirs villageois. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 507-528.

PELTIER R., 1991. Les jachères à composante ligneuse : caractérisation, productivité, gestion. In

La jachère en Afrique de l'Ouest, C. FLORET et G. SERPANTIE (éditeurs), actes de l'atelier international, Montpellier, France, 2-5 décembre 1991. Collection Colloques et séminaires, Orstom, Paris, France, p. 67-88.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Cirad, Montpellier, France ; Agridoc-International, Paris, France, 444 p.

VAN DER POL F., 1990. L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans au Mali-Sud. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 403-418.

VAN DER POL F., 1992. Soil minning. An unseen contributor to farm income in southern Mali. Royal Tropical Institute, The Netherlands Bulletin 325, 44 p.

WARING S.A., Bremner J.M., 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature 4 922: 951-952.

YOUNG A., 1995. L'agroforesterie pour la conservation des sols. ICRAF, 194 p.

ZOUMANA C., ASSEMIAN A., BODJI N., CESAR J., KOUA B., TOURE M., 1994. Accroissement de la production fourragère au niveau du terroir. Compte rendu final d'ATP Cirad 71/89, Cirad-emvt, Montpellier, France, 153 p.

## Résumé... Abstract... Resumen

D. LOUPPE, N'KLO OUATTARA, R. OLIVER — **Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées. Bilan minéral (Korhogo, nord Côte d'Ivoire).**

Dans la région de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire, la jachère a presque disparu et des reboisements, datant des années 60, sont exploités pour être remis en culture. Nous avons comparé l'effet sur les sols de deux espèces de ces anciens boisements, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. et *Gmelina arborea* Roxb., à *Acacia auriculiformis* A. Cunn., vulgarisé pour la création de jachères ligneuses améliorées de 6 à 8 ans. A 6 ans, la biomasse totale d'*A. auriculiformis* était de 58 t/ha, de 66 et 79 pour *E. camaldulensis* et *G. arborea*. Des teneurs en N, P, K, Ca et Mg mesurées dans les organes, l'azote est plus abondant pour *A. auriculiformis*, le phosphore pour *E. camaldulensis*, le potassium et le magnésium pour *G. arborea*. La proportion des éléments minéraux accumulés dans la partie aérienne et restitués au sol à l'abattage est plus élevée pour *A. auriculiformis*. Si les arbres sont écartés lors de l'exploitation, les exportations minérales d'*E. camaldulensis* et de *G. arborea* sont fortement réduites mais restent supérieures aux restitutions, sauf en calcium et magnésium pour *E. camaldulensis*. La jachère à *A. auriculiformis*, permet un gain de production lors de la remise en culture, contrairement à *E. camaldulensis* et de *G. arborea*, dont l'effet régénérateur de la fertilité reste insuffisant.

Mots clés : jachère arborée, masse minérale, fertilité, *Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea*, Côte d'Ivoire.

D. LOUPPE, N'KLO OUATTARA, R. OLIVER — **Fertility management in three arboreous fallow areas. Mineral balance (Korhogo, nord Côte d'Ivoire).**

Fallow has all but disappeared from the Korhogo region of the nord Côte d'Ivoire, and reforested areas planted in the 1960s are now being felled for replanting. We compared the effects on the soil of two of the forest species planted, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. and *Gmelina arborea* Roxb., with that of *Acacia auriculiformis* A. Cunn., which is currently distributed for short improved woody fallows (six to eight years). At six years, the total biomass produced by *A. auriculiformis* was 58 t/ha, compared to 66 and 79 t/ha for *E. camaldulensis* and *G. arborea*. Of the N, P, K, Ca and Mg contents measured in the organs, nitrogen levels were higher in *A. auriculiformis*; phosphorus in *E. camaldulensis*; and potassium and magnesium in *G. arborea*. The share of nutrients accumulated in the aerial part and returned to the soil on felling was higher for *A. auriculiformis*. If the bark was stripped from the trees on felling, mineral exports from *E. camaldulensis* and *G. arborea* were markedly reduced, but remained higher than returns, except for Ca and Mg for *E. camaldulensis*. *A. auriculiformis* fallow enabled a production gain on replanting, unlike *G. arborea* and *E. camaldulensis*, whose regenerative effects on soil fertility remained insufficient.

Keywords: improved fallow, mineral content, fertility, *Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea*, Côte d'Ivoire.

D. LOUPPE, N'KLO OUATTARA, R. OLIVER — **Mantenimiento de la fertilidad en tres barbechos con árboles. Balance mineral (Korhogo, norte de Costa de Marfil).**

En la región de Korhogo, al norte de Costa de Marfil, el barbecho casi ha desaparecido y se explotan repoblaciones forestales, que datan de los años sesenta, para volver a ponerlos en cultivo. Hemos comparado el efecto en los suelos de dos especies de estas antiguas repoblaciones forestales, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. y *Gmelina arborea* Roxb., a *Acacia auriculiformis* A. Cunn., divulgado para la creación de barbechos leñosos mejorados de 6 a 8 años. A los 6 años de edad, la biomasa total de *A. auriculiformis* era de 58 t/ha, y de 66 y 79 para *E. camaldulensis* y *G. arborea*. Se miden contenidos de N, P, K, Ca y Mg en los órganos, el nitrógeno es más abundante para *A. auriculiformis*, el fósforo para *E. camaldulensis*, el potasio y el magnesio para *G. arborea*. La proporción de los elementos minerales acumulados en la parte aérea y restituidos al suelo cuando la poda es más alta para *A. auriculiformis*. Si los árboles se descortezan al explotarlos, las remociones minerales de *E. camaldulensis* y de *G. arborea* son fuertemente reducidas pero permanecen superiores a las restituciones, salvo en calcio y magnesio para *E. camaldulensis*. El barbecho a *A. auriculiformis*, permite una ganancia de producción en la reactivación del cultivo, al contrario de *E. camaldulensis* y de *G. arborea*, cuyo efecto generador de la fertilidad sigue siendo insuficiente.

Palabras-claves: barbecho con árboles, masa mineral, fertilidad, *Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea*, Costa de Marfil.



# Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin

La dégradation des sols demeure ces dernières années une entrave très sérieuse au développement agricole du Bénin, en particulier pour les sols rouges ferrallitiques du sud communément appelés les terres de barre.

Elles couvrent 5 % de la superficie totale du pays et concentrent plus de 30 % de la population, avec des densités de l'ordre de 200 à 300 habitants au kilomètre carré (moyenne nationale : 45 hab/km<sup>2</sup>). L'agriculture est l'activité principale et la pression démographique a pour conséquence une forte réduction de la durée des jachères et un morcellement des surfaces cultivées. Les systèmes de culture fondés sur les plantes de couverture sont une solution pratiquée et étudiée dans la perspective de la restauration de ces terres. La succession des cultures comporte une plante installée par l'agriculteur dans le but de couvrir le sol pendant toute ou une partie de l'année.

(TRIOMPHE, 1996). Ainsi, ce dernier a pu montrer, au Honduras, l'intérêt du système mucuna-maïs, tant pour la production en maïs, que pour une bonne gestion de la ressource sol. Le mucuna existe naturellement au Bénin sous forme sauvage avec des feuilles veloutées et très urticantes. L'espèce *Mucuna pruriens* var. *utilis*, introduite en 1988, a été rapidement adoptée par la majorité des paysans du sud du Bénin (AZONTONDE, 1993).

L'étude relatée ici a été réalisée en station à Agonkanmey sur les terres de barre. Son objectif est la quantification des effets de la légumineuse mucuna sur la productivité d'un maïs et sur les propriétés du sol.

## La conduite de l'expérimentation

### Présentation du milieu

L'expérimentation a été menée près du village d'Agonkanmey sur la station de recherche du Centre national d'agro-pédologie (Cenap) située à environ 10 kilomètres au nord-ouest de Cotonou sur un plateau. Le substratum géologique est constitué de formations d'origine sédimentaire du Continental terminal (VOLKOFF, 1970) d'âge miopliocène. Les sols sont ferrallitiques et localement appelés terres de barre.

Le climat est de type subéquatorial maritime caractérisé par l'alternance de deux saisons sèches (novembre à mars et juillet à août) et de deux sai-

---

A. H. AZONTONDE

Cenap, BP 988, Cotonou, Bénin  
Email : cenap@bow.intnet.bj

C. FELLER

Cenap-Usip/Osifom, CP 96 13400  
Piracicaba, Brésil

F. GANRY

Cirad-ca, BP 5035,  
34032 Montpellier Cedex 1, France

J.-C. REMY

Inra-Ensam, Place Pierre Viala,  
34060 Montpellier Cedex 1, France

Diverses légumineuses ont été testées comme plantes de couverture dans différentes régions du monde : au Nigeria, BUNCH (1993), au Honduras, FLORES (1987), au Brésil, MONEGAT (1991), au Bénin, AZONTONDE (1993). Les plantes de couverture limitent le processus érosif (LAL, 1976), favorisent le stockage de l'eau dans les sols et améliorent généralement les propriétés des sols et le stock organique dans les horizons de surface

sons des pluies (mars à juillet et septembre à novembre). La pluviométrie moyenne annuelle sur la station est de 1 200 millimètres. Sa répartition autorise une période de croissance végétative, floraisons et fructifications comprises, de 240 jours par an. La moyenne annuelle de température est de 27 °C. L'évapotranspiration potentielle (ETP Penman) moyenne annuelle varie entre 1 400 et 1 500 millimètres. L'hygrométrie de l'air reste élevée (70 à 90 %) toute l'année.

La végétation climacique est un fourré arbustif à *Psidium goyava* et *Bridelia ferruginea*. C'est une formation très dense, non stratifiée à tapis herbacé inexistant. La composition floristique de cette formation est assez constante. Les cultures annuelles dominantes sont le maïs, le haricot, le manioc, l'arachide et la patate douce. L'exploitation des cultures pérennes comme le palmier à huile *Elaeis guineensis* est traditionnelle.

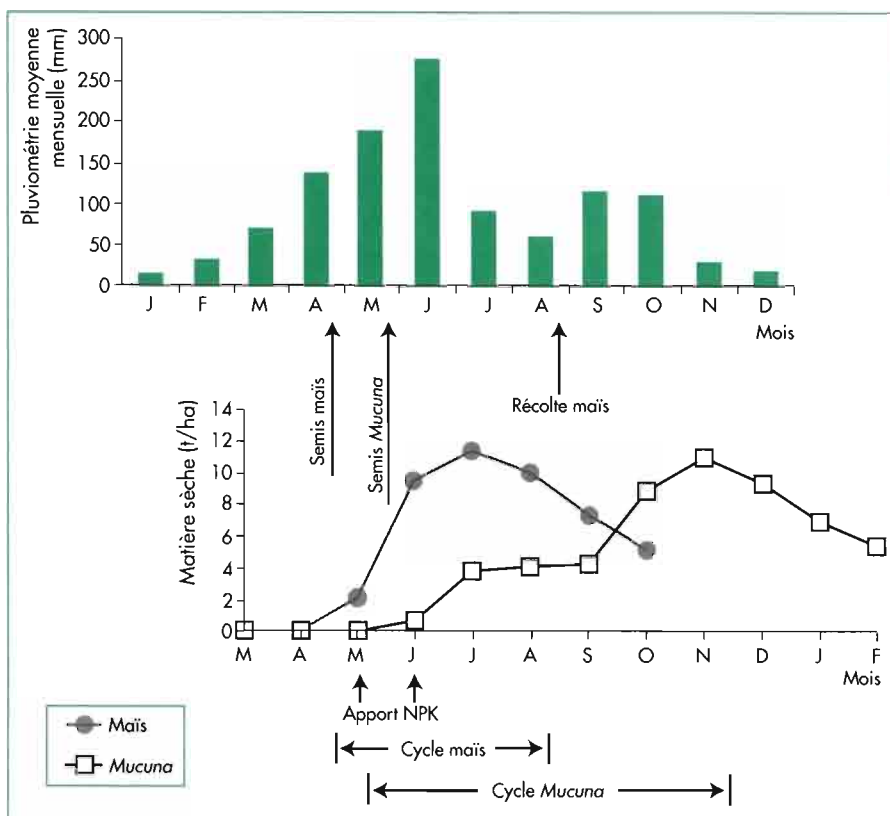


Figure 1. Calage des cycles du maïs et du mucuna en fonction de la pluviométrie.

## Le dispositif expérimental

Le dispositif est constitué de quatre parcelles de forme rectangulaire de 30 x 8 m, de pente 4 %, délimitées par des tôles de fer, larges de 30 centimètres, enfoncées dans le sol sur une profondeur de 10 centimètres. Une allée de 3 mètres de large sépare les parcelles les unes des autres.

L'essai actuel avec le système mucuna-maïs a été installé en 1989 à la suite d'essais sur les phénomènes d'érosion et de ruissellement (AZONTONDE, 1993). Il consiste à cultiver en association et rotation avec un maïs, une légumineuse de couverture, le mucuna dont le cycle est décalé par rapport à celui du maïs.

Les traitements (tableau 1) sont les suivants :

- traitement témoin T, culture traditionnelle continue de maïs sans fumure minérale ni installation de mucuna ;
- traitement NPK, culture continue du maïs avec apport fractionné 15 et 45 jours après semis de 200 kg/ha

Tableau 1. Traitements effectués sur les parcelles de 1964 à 1996.

Parcelles	1964-1974	1975-1988	1989-1996
P1 <sup>(1)</sup>	buttes (2 ans) puis billons + 2 sarclages culture : maïs	sarclage léger à la houe, apport de fumier culture : maïs	NPK : fertilisation NPK (15-15-15, 200 kg/ha + 100 kg/ha d'urée) (soit 76 kg/ha N, 30 kg P, 30 kg K) sarclage superficiel avec enfouissement des pailles culture : maïs tous les ans
P2 <sup>(1)</sup>	labour à la houe à plat et 2 sarclages culture : maïs	sarclage léger à la houe enfouissement stylosanthes culture : maïs	M2 : mucuna ressemé tous les 2 ans sarclage superficiel avec enfouissement des pailles tous les 2 ans culture : maïs tous les ans
P3 <sup>(1)</sup>	sans labour culture : maïs	andainage des résidus de récolte 2 sarclages culture : maïs	T : sarclage superficiel avec enfouissement des pailles culture : maïs tous les ans
P4	jachère naturelle : 10 ans	billonnage isohypse culture : maïs tous les ans	M1 : mucuna ressemé tous les ans sarclage superficiel sans enfouissement des pailles culture : maïs tous les ans

<sup>(1)</sup> les traitements sur les parcelles P1 à P3 ont été précédés d'un an de jachère et d'un an de sol nu sans culture.



d'engrais NPK (15-15-15) + 100 kg/ha d'urée 30 jours après semis. La fertilisation totale est donc de 76 N - 30 P - 30 K ;

– traitement M2, association et rotation maïs-mucuna avec culture de maïs tous les ans et plantation de mucuna tous les deux ans. Il n'y a pas de fertilisation minérale ;

– traitement M1, identique à traitement M2, mais avec plantation de mucuna tous les ans. Il n'y a pas de fertilisation minérale.

Le maïs est semé après une pluie supérieure à 15 millimètres, généralement entre le 15 avril et le 15 mai, à une densité de 31 000 pieds par hectare à raison de 2 grains par poquet. La récolte se fait entre le 30 juillet et le 30 août. Le calendrier cultural de cette association et rotation est schématisé sur la figure 1. La variété de maïs utilisée, DMR, est un hybride de 100-110 jours.

Le sol n'est jamais labouré ; il subit un simple sarclage superficiel sur 5 centimètres à la houe au début de la grande saison des pluies ; il peut être répété toutes les deux semaines si les pluies sont fréquentes et régulières.

Pour tous les traitements, les résidus de récolte sont laissés à la surface du sol et le paillis du mucuna est perturbé le moins possible.

## Prélèvements effectués

### Sol

Chaque parcelle a été subdivisée dans le sens de la longueur en 6 sous-parcelles de 30 x 1,33 m ; puis chaque sous-parcelle est divisée en 10 miniparcelles de 3 x 1,33 m. Les échantillons sont prélevés sur les profondeurs de 0-10, 10-20 et 20-40 cm.

Pour les dosages du carbone organique, de l'azote total et de l'azote minéral, les prélèvements sont effectués à la tarière dans toutes les miniparcelles.

Pour la détermination de la densité apparente, des teneurs en eau (aux pF 2,5 et 4,2), et de l'humidité du sol, 9 prélèvements sont faits en amont, au milieu et en aval avec des anneaux pF.

### Plantes

L'estimation du rendement en grains et de la biomasse totale du maïs est faite après récolte sur toute la parcelle sans tenir compte des plants de bordure.

Pour l'étude de la composition chimique des végétaux, les parties aériennes et racinaires du maïs sont prélevées sur une surface d'un mètre carré dans quatre miniparcelles prises au hasard. Les dates de prélèvement sont début juin (début floraison), fin juin (pleine floraison), août (à la récolte du maïs). Les teneurs en azote sont déterminées sur les grains, les tiges et les feuilles.

Les parties aériennes et souterraines (couches de 0-10, 10-20 et 20-40 cm) du mucuna sont prélevées sur quatre répétitions d'un mètre carré en mi-avril (il s'agit du mucuna de l'année), début août, début octobre (période de croissance végétale maximale). Pour les parties souterraines, les débris végétaux de taille supérieure à un millimètre sont séparés par tamisage sous l'eau et les racines de mucuna sont triées manuellement.

## Méthodes analytiques

Les échantillons de sol sont préparés à 2 millimètres puis broyés plus finement selon l'analyse à effectuer. Le carbone total a été dosé par voie sèche à l'autoanalyseur CHN LECO et l'azote total par la méthode KJELDAHL. Les stocks (Q) de carbone (C) et d'azote (N) (kg/m<sup>3</sup>) pour un horizon d'épaisseur e (cm), de densité apparente  $\rho_a$  et de teneurs en C et N, exprimées en g/kg de sol sont calculés par la formule suivante :

$$Q = (C, N) \times \rho_a \times e \times da/100.$$

Le taux en % de matière organique du sol est calculé par la formule :

$$MO \% = C \% \times 1,724.$$

Les mesures du pH eau sont faites sur une suspension dans un rapport sol/eau de 1/2,5.

Les bases échangeables et la capacité d'échange sont déterminées par la méthode internationale à l'acétate d'ammonium à pH = 7,0.

L'azote minéralisable du sol, a été déterminé par la méthode d'incuba-

tion-percolation décrite par STANFORD et SMITH (1972). Il s'agit d'une incubation à température et humidité constantes au cours de laquelle le sol est lessivé périodiquement avec une solution de  $CaCl_2$  M/100 puis par une solution de recharge cationique. La durée totale d'incubation est ici de 19 semaines. Les déterminations ont été faites au laboratoire d'analyse du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad, Montpellier, France) sur des échantillons de sol préparés trois mois avant.

Les formes minérales ( $N-NH_4$  et  $N-NO_3$ ) sont dosées à l'auto-analyseur (WANEUKEN et GANRY, 1991). Ne sont rapportées ici que les sommes d'azote minéral :

$$Nm = N-NH_4 + N-NO_3.$$

Les quantités d'azote mesurées au temps 1 semaine sont diminuées de la quantité d'azote minéral initial  $N_{mi}$ . Les quantités d'azote ( $N_m$ ) sont ensuite cumulées ( $N_t$ ) et exprimées en mg N/kg de sol. Les données sont les moyennes de trois répétitions.

## Résultats et discussion

### Production du maïs

La figure 2 montre que les rendements de maïs des traitements M1, M2 et NPK ont une progression régulière et significative par rapport au traitement témoin T qui ne fait que décroître. Le sens général des variations est le suivant :  $T < M2 < NPK < M1$ .

Les rendements en grains du traitement M1 sont de l'ordre de 3,5 tonnes par hectare. L'allure des courbes du traitement M2 met bien en évidence l'effet immédiat du mucuna sur la productivité du maïs : le rendement correspondant à un précédent sans mucuna est nettement plus faible que celui de la récolte précédente avec mucuna. Toutefois, l'effet bénéfique du mucuna se manifeste sur le long terme et équivaut au traitement NPK (2 à 2,5 t/ha).

HAMADINA (1995) a montré également que, sur un ultisol en zone forestière humide au Nigeria, le rendement

en maïs grain augmente de 85 % au cours de la campagne qui suit le paillis de mucuna.

## Niveau des restitutions au sol

La composition des parties aériennes et racinaires est représentée au tableau 2 et les quantités d'éléments organiques et minéraux restituées au sol selon les différents traitements sur la figure 3 et au tableau 3.

La seule biomasse aérienne du mucuna dans ce traitement apporte au sol 5 320 kilogrammes par hectare de carbone, 290 d'azote, 100 de phosphore, 240 de potassium, 40 de calcium et 100 de magnésium. Ces valeurs sont proches de celles obtenues par TRIOMPHE (1996) au Honduras. Le niveau élevé des restitutions en matière sèche des deux traitements M1 et M2 entraîne un apport important au sol d'éléments minéraux. Par ce seul effet, BUNCH (1986) estime que la fertilité induite chaque année par les restitutions du mucuna est équivalente à une jachère naturelle de 10 ans. Les valeurs du rapport C/N des parties racinaires du mucuna (18 à 22) sont faibles par rapport à celles du maïs (72-118) et laissent supposer une bonne efficacité de la fixation atmosphérique de l'azote par le mucuna. Ce faible rapport C/N implique aussi probablement un fort taux de minéralisation de l'azote des racines.

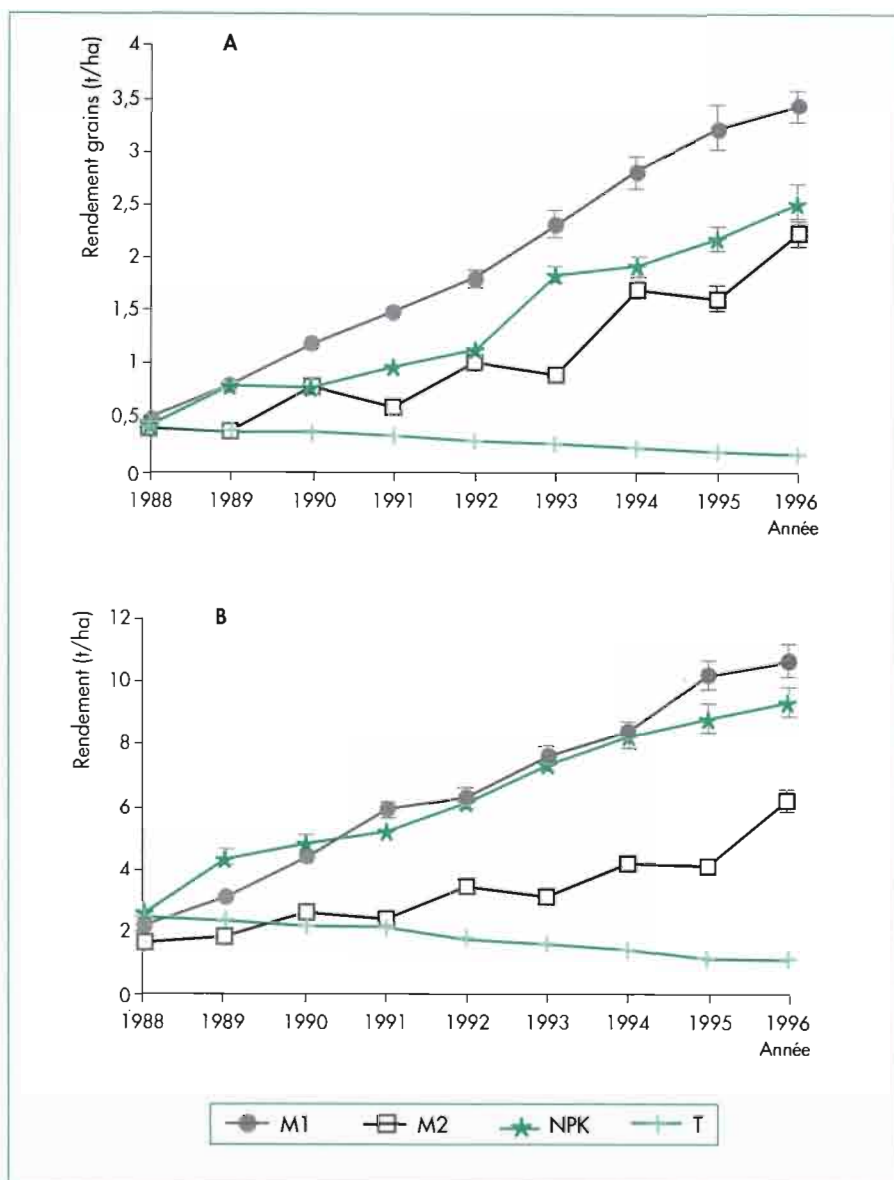


Figure 2. Evolution des rendements en maïs (t MS/ha) en grains (2A) et en matière sèche hors grains (2B) de 1988 à 1996.

Tableau 2. Matière sèche, carbone organique et éléments minéraux dans le maïs et le mucuna de 1989 à 1996 : résultats des moyennes et écart-type (valeurs entre parenthèses).

Plante	Organe	Traitement	Production de MS kg/ha	Composition de la matière sèche (g/kg) n=12						
				C	N	P	K	Ca	Mg	C/N
Maïs	Parties aériennes	T	970 (43)	532,5 (26)	4,5 (0,09)	2,8 (0,06)	4,5 (0,02)	2 (0,01)	5,1 (0,02)	118,3
		NPK	9 260 (230)	523,6 (16)	7 (0,3)	8,5 (0,26)	9 (0,32)	5,5 (0,21)	5,6 (0,36)	74,8
		M2	6 140 (184)	533,1 (14)	6,3 (0,23)	5,5 (0,21)	5 (0,15)	2,5 (0,12)	6,8 (0,24)	84,6
		M1	10 510 (265)	538,4 (9,5)	6,6 (0,3)	7,5 (0,3)	8 (0,4)	3,2 (0,1)	7,5 (0,3)	81,6
	Racines	T	280 (9)	473,6 (19,9)	4 (0,2)	1,8 (0,06)	2,6 (0,05)	1,2 (0,03)	4,8 (0,3)	118,4
		NPK	2 180 (68)	508,1 (20,3)	6,5 (0,26)	7,1 (0,22)	7,3 (0,25)	4,5 (0,2)	5 (0,31)	78,2
		M2	2 100 (90)	449,3 (15,7)	6,2 (0,27)	4,3 (0,32)	4,2 (0,24)	2,1 (0,12)	5,9 (0,21)	72,5
		M1	2 180 (87)	455,9 (20,5)	5 (0,2)	6,3 (0,33)	7,6 (0,32)	2,6 (0,11)	6,9 (0,25)	91,2
Mucuna	Parties aériennes	M2 <sup>(1)</sup>	10 890 (357)	488,4 (26,8)	26,5 (1,3)	9,5 (0,2)	21,6 (1,2)	3,5 (0,1)	8,5 (0,3)	
		M1	10 890 (316)	488,4 (24,5)	26,5 (1,15)	9,5 (0,36)	21,8 (0,87)	3,8 (0,11)	9 (0,26)	18,4
	Racines	M2 <sup>(1)</sup>	2 450 (95)	454,6 (23,5)	20,5 (0,4)	8,9 (0,24)	18,7 (0,6)	2,8 (0,1)	8 (0,2)	
		M1	2 450 (76)	454,6 (20,2)	20,5 (1,2)	8,9 (0,3)	18,7 (0,6)	3,1 (0,1)	8,3 (0,2)	22,2

(1) : pour le traitement M2 sur mucuna, les valeurs de C organique et des éléments minéraux sont nuls une année sur deux.



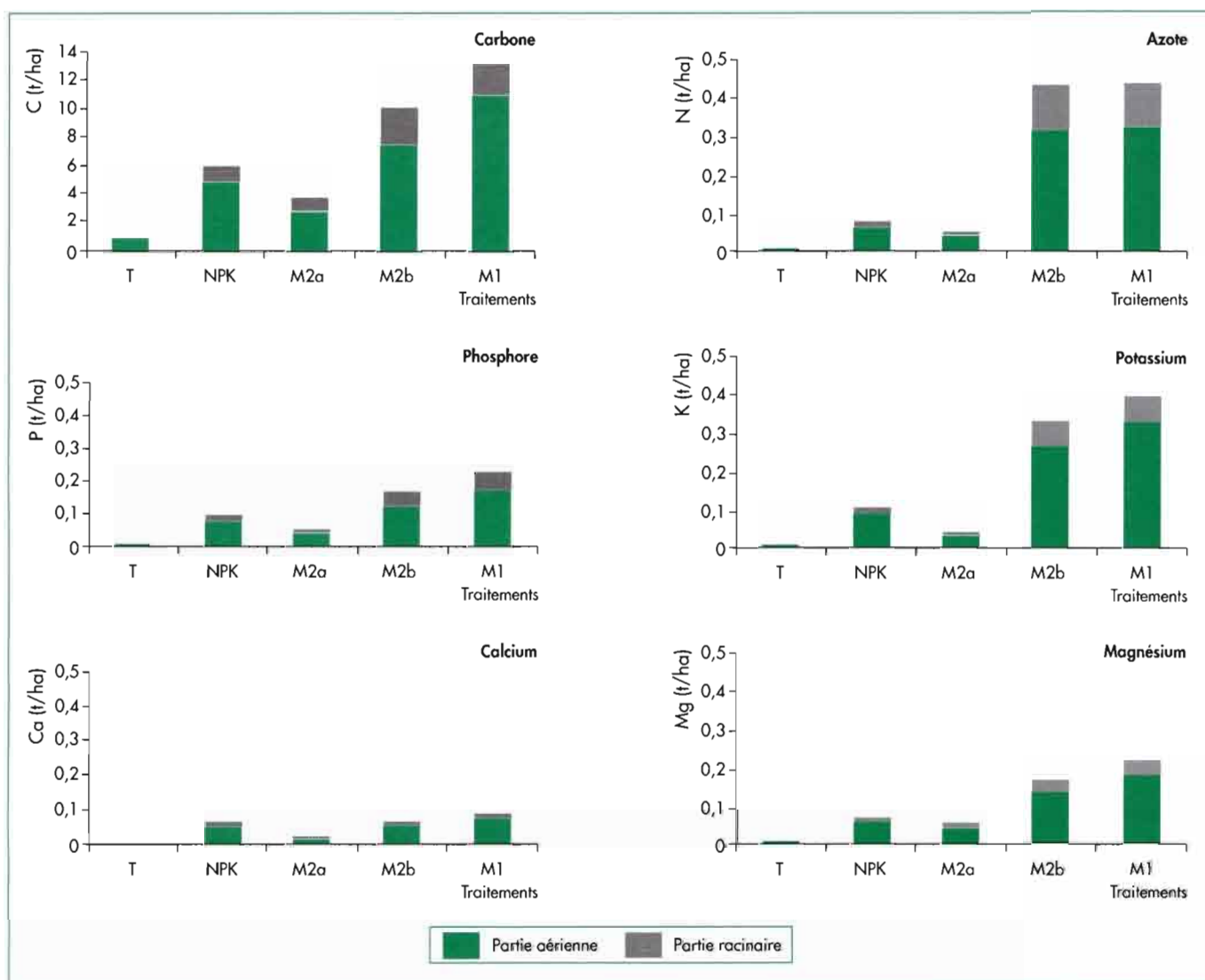


Figure 3. Stocks d'éléments organiques (C, N) et minéraux (P, K, Ca, Mg) restitués au sol (t/ha) par les parties aériennes et les racines en fonction des traitements en 1996 : T, NPK, M2a en 1995, M2b en 1996 et M1 (a = sans arrière-effet mucuna, b = avec arrière effet mucuna).

Tableau 3. Stocks (kg/ha) de carbone et d'azote organiques et d'éléments minéraux restitués au sol par le maïs et le mucuna : résultats des moyennes et des écarts-types (valeurs entre parenthèses).

Plante	Organe	Traitement	Restitutions au sol (kg/ha)					
			C	N	P	K	Ca	Mg
Maïs	Parties aériennes	T	518,5 (20,3)	4,4 (0,2)	2,7 (0,1)	4,4 (0,2)	1,9 (0,0)	4,9 (0,2)
		NPK	4 849 (146)	64,8 (2,5)	78,7 (3,8)	83,3 (4,2)	50,9 (2,2)	51,8 (2,1)
		M2a	3 273 (130,8)	38,7 (2,3)	33,8 (2,3)	30,7 (1,7)	15,3 (0,5)	41,7 (2,2)
		M2b	4 958 (148,7)	56,6 (2,3)	51,1 (2,4)	46,5 (2,5)	23,2 (1,9)	63,2 (3,3)
		M1	5 858,6 (167,8)	69,4 (3,5)	78,8 (4,3)	84,1 (4,2)	33,6 (1,8)	78,6 (4,2)
	Racines	T	132,6 (3,6)	1,1 (0,0)	0,5 (0,0)	0,7 (0,0)	0,3 (0,0)	1,3 (0,1)
		NPK	1 107,6 (44,3)	14,2 (0,7)	15,5 (0,8)	15,9 (0,7)	9,6 (0,3)	10,9 (0,3)
		M2a	943,5 (37,7)	13 (0,7)	9 (0,3)	8,8 (0,3)	4,4 (0,3)	12,4 (0,4)
		M2b	952,5 (32,6)	13,1 (0,7)	9,1 (0,4)	8,9 (0,4)	4,4 (0,2)	12,5 (0,4)
		M1	993,9 (35,9)	10,9 (0,5)	13,7 (0,6)	16,6 (0,6)	5,7 (0,3)	15 (0,5)
Mucuna	Parties aériennes	M2	5 318,7 (158,4)	288,6 (11,6)	103,4 (6,2)	235,2 (7,1)	38,1 (2,0)	92,6 (3,7)
		M1	5 318,7 (160)	288,6 (10,8)	103,4 (5,1)	237,4 (7,0)	41,4 (2,0)	98 (4,0)
	Racines	M2	1 113,8 (46,8)	50,2 (2,5)	21,6 (0,2)	45,8 (1,8)	6,9 (0,1)	19,6 (0,6)
		M1	1 113,8 (44,5)	50,2 (1,6)	21,8 (0,8)	45,8 (1,1)	7,6 (0,1)	20,3 (0,8)

## Caractéristiques des sols

### Caractères morphologiques

Les observations du profil montrent que l'effet du mucuna se manifeste par des modifications importantes de la morphologie des horizons de surface : couleur nettement plus foncée due aux accroissements des teneurs en matière organique, acquisition d'une structure grumeleuse, activités fauniques et en particulier des vers de terre beaucoup plus fortes. A l'opposé, l'horizon de surface sous culture traditionnelle continue (traitement T) présente un fort développement des croûtes superficielles (CASENAVE et VALENTIN, 1988), une teinte claire, une structure massive et un faible niveau d'activité biologique.

### Caractéristiques chimiques

La figure 4 présente les variations ( $\Delta$ ) des teneurs en carbone organique et en azote total ainsi que celles du pH eau et des propriétés d'échange (bases échangeables S, capacité d'échange cationique CEC) en fonction des traitements, entre 1988 et 1996. Les variations sont de l'ordre de :  $T < NPK < M2 < M1$ .

**Carbone et azote.** Pour le traitement témoin T, les teneurs en carbone et en azote sont passées respectivement de 0,65 à 0,37 % et de 0,054 à 0,033 %. L'effet négatif des cultures continues traditionnelles avec de faibles niveaux de restitution organique sur les réserves organiques et les conséquences sur les autres propriétés éda-phiques ont été de nombreuses fois décrits pour divers types de sol en milieu tropical (SIBAND, 1974 ; LAL, 1976 ; ROOSE, 1981). A l'opposé, le système mucuna-maïs et la fumure minérale forte permettent un accroissement des teneurs en carbone et en azote du sol. De même, TRIOMPHE (1996) observe, en dix ans, une augmentation de 50 % du taux de matière organique de la couche 0-2,5 centimètres.

**Acidité et complexe d'échange.** La culture traditionnelle continue provoque une forte acidification du sol (baisse du pH eau : - 0,7 à - 1,4) et une forte diminution des bases échan-

geables (baisse de S : - 0,3 à - 0,4) et de la capacité d'échange (- 0,5). Avec le traitement NPK, on note aussi une acidification notable du sol ( $\Delta$ pH eau : - 0,5) mais une légère augmentation de S et CEC. Pour les traitements avec mucuna, une faible diminution du pH est aussi observée (- 0,1 à - 0,4) mais on note de fortes augmentations de S (+ 0,4 à + 1,0) et de la capacité d'échange (+ 0,6 à + 1,6).

Les effets positifs des traitements avec mucuna sur la CEC sont à mettre en relation avec l'augmentation des teneurs en matière organique du sol ; et celui sur les bases échangeables avec les forts taux de restitution en Ca, K et Mg par le mucuna.

Une caractéristique biologique du sol : l'azote minéralisable

A titre d'illustration, on présente ici les résultats pour l'horizon 0-10 cm. Les variations de l'azote minéralisable Nm au cours du temps (figure 5) vont dans le sens :

$T (11,61) \ll M2 = NPK < M1 (49,69)$ . Ce sens de variation est le même que celui des variations des teneurs en carbone.

Selon le test de NEWMAN-KEULS, les valeurs de Nm pour les traitements NPK, M2 et M1 ne sont pas significativement différentes entre elles mais le sont par rapport au témoin T (4 fois plus élevées).

Par ailleurs, il existe une relation significative entre Ntotal et Nm ( $R^2 = 0,80$ ). Ceci rejoint les observations déjà faites par WANEUKEM et GANRY (1991) pour des sols faiblement ferrallitiques du Sénégal. De manière générale, ces résultats montrent l'effet très important du système maïs-mucuna sur le statut azoté de ces sols.

## Conclusion

Les résultats obtenus au cours des essais montrent que le système maïs-mucuna est une alternative particulièrement intéressante pour la gestion des terres dans le sud du Bénin, non seulement par rapport aux systèmes traditionnels, mais aussi par rapport aux systèmes plus intensifiés avec fertilisation chimique. Avec la mise en

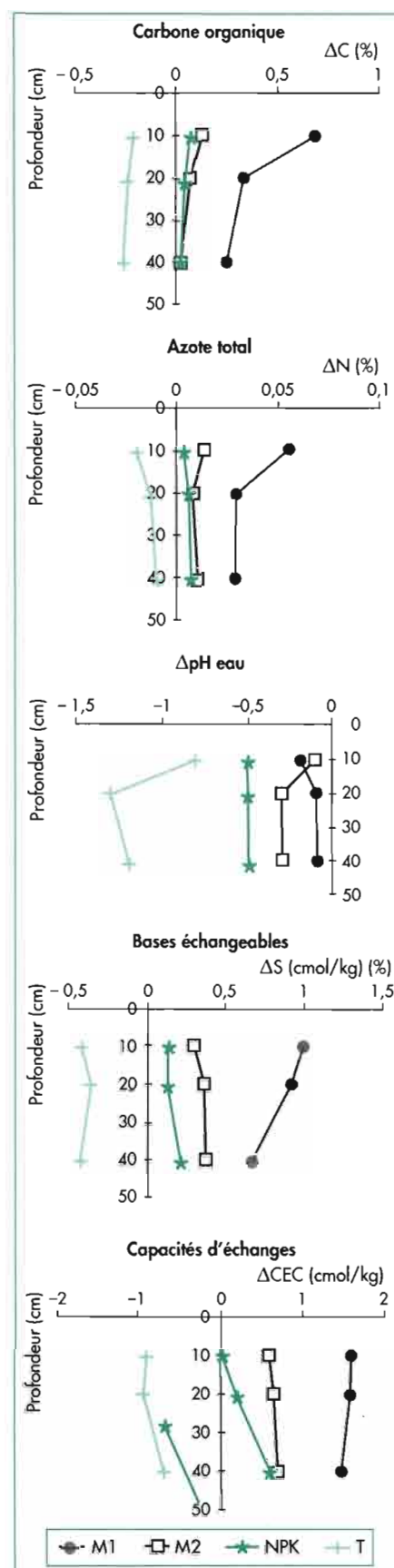


Figure 4. Influence des traitements sur l'évolution du profil des caractéristiques physico-chimiques des sols de 1988 à 1996 avec  $\Delta(C, N, pH, S, CEC) = (C, N, pH, S, CEC) 1996 - (C, N, pH, S, CEC) 1988$ , en fonction de la profondeur du sol.



œuvre du système maïs-mucuna tous les ans, on observe un effet très important sur la production du maïs — qui atteint, après 10 ans d'essais, près de 4 t/ha — et sur la restauration des propriétés de sols très dégradés par des cultures de longue durée : forte limitation de l'érosion et du ruissellement (AZONTONDE, 1993), augmentation des teneurs en matière organique, des bases échangeables et du potentiel de minéralisation de l'azote dans les hori-

zons de surface. Il est probable (une étude est en cours) que l'ensemble du fonctionnement du sol, incluant les aspects physiques et biologiques, soit fortement modifié sous l'effet de ces systèmes.

Des techniques nouvelles de gestion au sein même de ce système peuvent être envisagées, comme l'utilisation du mucuna une année sur deux seulement (traitement M2). Nous avons montré ici que les effets obtenus sur

la productivité et les propriétés édaphiques sont identiques à ceux d'un traitement avec fertilisation minérale et restitution des pailles de maïs (traitement NPK).

Pour ces deux systèmes (traitements M1 et M2), il apparaît un effet cumulé marqué sur la fertilité du milieu. Ces effets sont liés aux restitutions organiques et minérales du mucuna (parties aériennes et racinaires) : 6 433 kg/ha carbone, 339 azote, 105 phosphore, 283 potassium, 49 calcium et 118 magnésium. Si l'on suppose que l'essentiel de l'azote vient de la fixation atmosphérique et peut donc être considéré comme un gain net, ceci montre aussi la grande capacité du mucuna à recycler et à limiter la perte des autres éléments.

Les données de production et de propriétés des sols recueillies sur dix ans, associées au fait que ce système est actuellement accepté en milieu paysan, illustrent le caractère durable de ces systèmes.

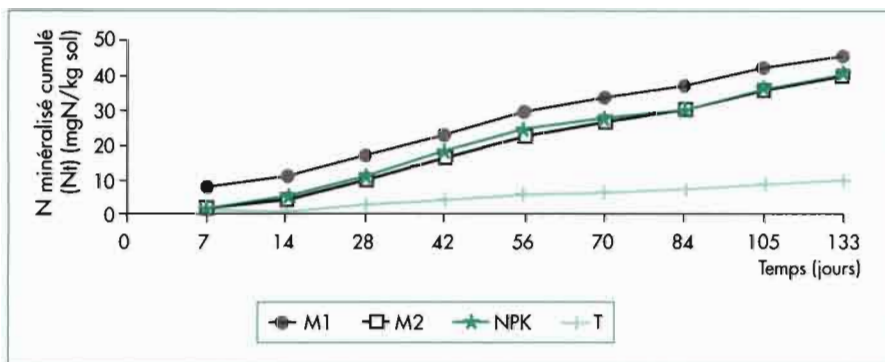


Figure 5. Azote minéralisable (mg N/kg de sol) selon les traitements avec flush sur l'horizon 0-10 cm de 7 à 133 jours.

## Bibliographie

AZONTONDE A., 1993. Dégradation et ressauration des Terres de Barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Cah. Orstom, sér. pédol. vol. 28 (2) : 217-226.

BUNCH R., 1986. What we have learned to date about green manure crops for small farmers Cidicco, Tegucigalpa, Honduras. In Mucuna, solution pour les terres pauvres et les champs envahis par les chiendents, KOUKOPON V., VERSTEEG M. (Eds), Cotonou, Bénin, IITA, 10 p.

BUNCH R., 1993. El de abonos verdes por los campesinos : lo que hemos aprendido hasta la fecha. Cidicco, Tegucigalpa, Honduras, 2da. edición. In Mucuna, solution pour les terres pauvres et les champs envahis par les chiendents, KOUKOPON V., VERSTEEG M. (Eds), Cotonou, Bénin, IITA, 10 p.

CASENAVE A., VALENTIN C., 1988. Les états de surface dans la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Rapport Cee/Orstom, Paris, France, 202 p.

FLORES M., 1987. El uso del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) por agricultores de la costa norte de Honduras para la producción de maíz. Cidicco, Tegucigalpa, Honduras.

HAMADINA M.K., 1995. L'effet de cultures de couverture précises et du paillis de *Dactylenia barteri* sur un Ultisol dans les tropiques humides. Mémoire de maîtrise, université des sciences et technologies de l'Etat de Rivers, Nigeria.

LAL R., 1976. Soil erosion on alfisol in Western Nigeria. Geoderma 16: 363-431.

MONEGAT C., 1991. Plantas de cobertura de solo. Chapeco, SC, Brésil.

PHILLIPS P.E., PHILLIPS S.H. (Eds), 1984. No tillage agriculture principles and practices. Van Nostrand Reinold company Inc., New York, Etats-Unis.

ROOSE E., 1981. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et Documents de l'Orstom 130, 566 p.

SIBAND P., 1974. Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. L'Agronomie Tropicale 29 (12) : 1 228-1 248.

STANFORD G., SMITH S.J., 1972. Nitrogen mineralization potentials of soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 465 - 472.

STAT-ITCF, 1989. Manuel d'utilisation. Itcf, Paris, France.

TRIOMPHE B.L., 1996. Seasonal nitrogen dynamics and long term changes in soil properties under the Mucuna-maïs cropping system on the hillsides of northern Honduras. Thèse doctorat, Cornell University, Ithaca, New York, Etats-Unis, 217 p.

VOLKOFF B., 1970. Carte pédologique de reconnaissance du Dahomey à 1/200 000. Feuille PORTO-NOVO (Sédimentaire Sud). Orstom, Paris, France, 82 p.

WANEUKEM V., GANRY F., 1991. Test de diagnostic de la fertilité azotée d'un sol tropical. Essai de validation in situ d'un indicateur chimique du sol. Cirad, Montpellier, France, 39 p. + annexes.

WERTZ R., 1979. Dossier pour une synthèse des résultats de la recherche agronomique au Bénin en maïsiculture. Cirad, Cotonou, Bénin, 241 p.

## Résumé... Abstract... Resumen

A. H. AZONTONDE, C. FELLER, F. GANRY, J.-C. REMY —  
**Le mucuna et la restauration des propriétés d'un  
 sol ferrallitique au sud du Bénin.**

Sur les plateaux du sud du Bénin, avec une pluviométrie annuelle de 1 000 à 1 200 millimètres, l'agriculture est l'activité principale. La forte pression démographique a entraîné la dégradation des sols. Cette étude présente un nouveau système de culture fondé sur une association et rotation entre le maïs et une légumineuse de couverture, *Mucuna pruriens* var. *utilis*. Ce système, testé depuis 1988, consiste à semer le maïs dans le paillis de mucuna de l'année précédente. Le mucuna atteint sa pleine croissance après la récolte du maïs et n'entre pas en compétition avec celui-ci. Ce système permet d'augmenter notablement le rendement en maïs et d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols. Déjà accepté en milieu paysan, cette technique donne de grands espoirs pour la restauration des terres de barre.

Mots-clés : plante de couverture, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, maïs, système de culture, analyse de sol, carbone, azote, acidité, bases échangeables, agriculture durable, Bénin.

A. H. AZONTONDE, C. FELLER, F. GANRY, J.-C. REMY —  
**Use of *Mucuna* to restore ferrallitic soils  
 properties in southern Benin.**

Agriculture is the main activity on the plateaux of southern Benin, where annual rainfall ranges from 1 000 to 1 200 millimetres. High population pressure has led to soil degradation. This study describes a new cropping system based on intercropping and rotation of maize and a legume cover crop, *Mucuna pruriens* var. *utilis*. The system, which has been tested since 1988, consists in sowing maize in *Mucuna* mulch from the previous year. The *Mucuna* completes its growth once the maize has been harvested, hence there is no competition between the two. This system enables increased maize yields and improves soil physico-chemical and biological properties. It is already widely accepted in the smallholder sector, and offers good prospects for regenerating clayey soils.

Keywords: cover crop, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, maize, cropping system, soil analysis, carbon, nitrogen, acidity, exchangeable bases, sustainable agriculture, Benin.

A. H. AZONTONDE, C. FELLER, F. GANRY, J.-C. REMY —  
**El mucuna y la restauración de las propiedades  
 de un suelo ferralítico en el sur de Benin.**

En las mesetas del sur de Benin, con una pluviometría anual de 1 000 a 1 200 milímetros, la agricultura es la actividad principal. La fuerte presión demográfica ocasionó la degradación de los suelos. Este estudio presenta un nuevo sistema de cultivo basado en una asociación y una rotación entre el maíz y una leguminosa de cobertura, *Mucuna pruriens* var. *utilis*. Este sistema, sometido a prueba desde 1988, consiste en sembrar el maíz en el pajote de mucuna del año anterior. El mucuna alcanza su plena crecimiento después de la cosecha del maíz y no entra en competencia con éste. Este sistema permite incrementar especialmente el rendimiento de maíz y mejorar las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos. Ya aceptada en medio campesino, esta técnica da grandes esperanzas para la restauración de las tierras de rocas sedimentarias.

Palabras-claves: planta de cobertura, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, maíz, sistema de cultivo, análisis de suelo, carbono, nitrógeno, acidez, bases intercambiables, agricultura duradera, Benin.



# Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien

## Fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture de mil, étude au Niger

Au Sahel, les agriculteurs luttent contre la perte de fertilité des terres en les mettant en jachère ou en apportant périodiquement à la surface fèces et urine de zébus et de caprins. Mais aujourd'hui, de plus en plus de jachères sont remises en culture avant que la fertilité des sols n'ait été régénérée : il en résulte une baisse des rendements et de la productivité du travail ainsi que la dégradation du milieu sous forme d'encroûtement superficiel. Dans ces situations, la fumure organique peut permettre de maintenir ou d'améliorer la production du mil.

de 30-35 %) qu'une récolte de mil n'est garantie que 4 ans sur 5 (LE HOUEROU, 1992). Les sols sahéliens étant pauvres, ces conditions entraînent des difficultés de maintien de la productivité, d'autant que la plupart des paysans ne disposent pas des moyens nécessaires à l'utilisation d'engrais minéraux. Pour lutter contre la diminution de la fertilité des champs, les paysans ont recours à deux techniques : la mise en jachère et la fumure organique. Cette dernière s'effectue sous la forme d'apports périodiques dans les champs de fèces et d'urine, principalement de zébus et de caprins.

Entre le Sahara et la savane soudanaise, le Sahel est caractérisé par une pluviométrie annuelle de 300 à 700 millimètres, en une saison de trois à quatre mois, de juin à septembre. Le reste de l'année ne compte généralement aucune averse. Le mil (*Pennisetum glaucum*) constitue la seule céréale d'importance économique au Sahel. Tandis que l'élevage pénètre dans les zones très sèches, l'agriculture pluviale devient très incertaine en dessous de 400 millimètres de pluie. La fréquence et le caractère aléatoire des périodes de sécheresse y sont tels (coefficient de variation

### Les partenaires de la recherche

Programme Fed 1994-1999 amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest.

Pays concernés : Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal.

Les équipes — agronomes, pédologues, hydrologues, phytoécologues, etc. — interviennent sur un ou deux sites par pays.

Principal site au Niger : Banizoumbou.

Partenaires au Niger : Université de Niamey, Orstom.

Coordinateur régional : C. FLORET, Orstom, BP 1386, Dakar, Sénégal.

A. DE ROUW

Inra, 78850 Thiverval-Grignon, France  
Mél : derouwe@jouy.inra.fr

Lorsque l'agriculture dispose de surfaces suffisantes, les deux pratiques demeurent possibles. La forte croissance démographique, entre 2 et 3 %, va engendrer dans un avenir proche, un manque de terre cultivable, ne permettant plus de conserver les techniques de mise en jachère. Au fur et à mesure que se fait sentir une pénurie de terres cultivables, les jachères sont mises en culture avant que la fertilité des sols n'ait été régénérée. Il en résulte une baisse de rendement, une diminution de la productivité du travail et une dégradation du milieu sous forme d'encroûtement superficiel. Dans de telles situations, l'emploi de la fumure organique constitue une solution pour le maintien et l'amélioration de la production du mil : l'objectif de cet article est d'étudier cette possibilité qui paraît d'autant plus réaliste qu'au Sahel coexiste une agriculture pluviale extensive et un élevage semi-nomade.

## L'agriculture sahélienne

Le terroir d'étude, Banizoumbou, à 65 kilomètres à l'est de Niamey (Niger, figure 1), est relativement ancien — plus que 150 ans. Il est d'assez petite taille, 80 kilomètres carrés. Le village compte 84 ménages avec une taille de ménage moyenne de 10 personnes (LOIREAU, 1998). La région est à majorité zarma, ethnie d'agriculteurs qui, à Banizoumbou, a peu de bétail : 90 % des ménages possèdent moins de 10 têtes, zébus et caprins confondus. La minorité peuhl, 10-15 % de la population, ethnie d'éleveurs devenue sédentaire et agricole, possède plus de 10 têtes de bétail par ménage.

Compte tenu de la pluviométrie (environ 550 mm/an), la culture pluviale dominante est le mil, souvent associé au niébé. Elle se caractérise par l'absence de culture attelée et un très faible recours à l'engrais. Deux points méritent d'être soulignés : la grande taille des champs de mil (4 à 30 ha d'un seul tenant) et l'éloignement de 5 à 8 kilomètres des parcelles cultivées par le

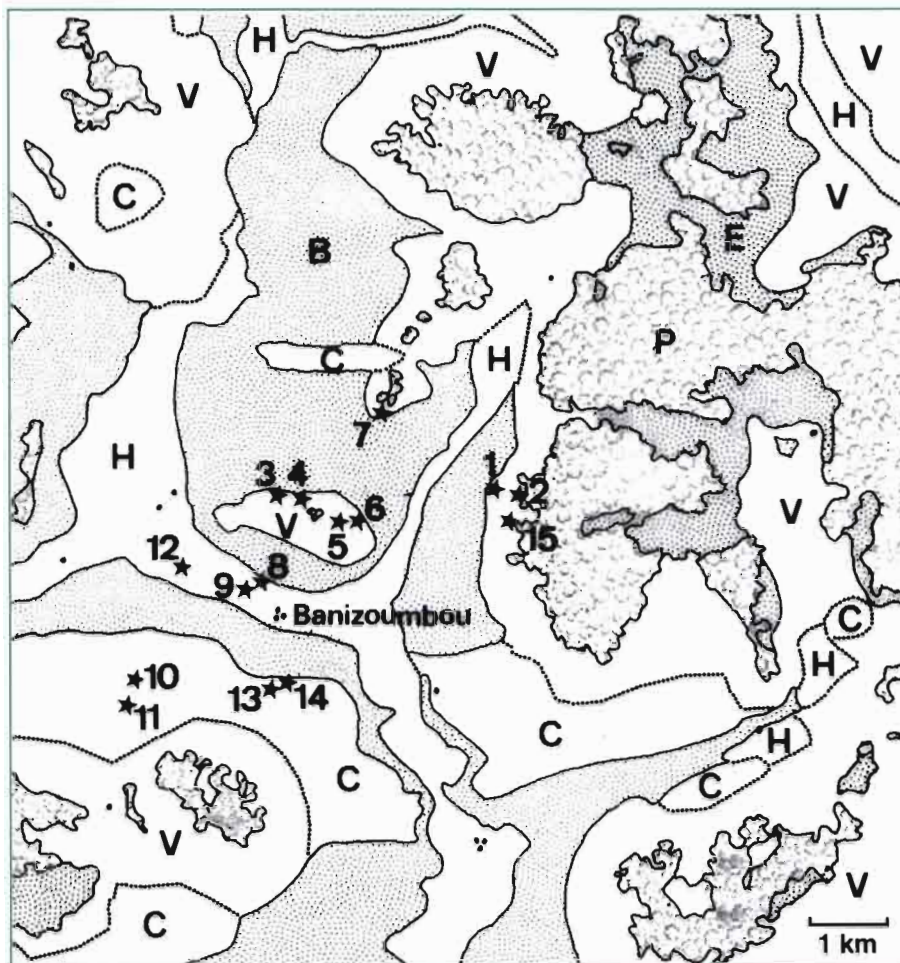


Figure 1. Carte géomorphologique d'une zone agropastorale sahélienne, avec l'emplacement des champs étudiés (numérotés au tableau 1) sur le terroir de Banizoumbou.

P = plateau cuirassé, E = ensablement sur plateau, B = bas-fonds et dépressions. P, E et B, sont des zones de pâturages, peu aptes à la culture. V = versants et piémonts sableux d'origine éolienne, C = cordon dunaires fixes, H = chanfrein. V, C et H sont des zones cultivées en mil, champs et jachères. D'après NAGUMO (1992) et LOIREAU (1998).

même paysan au cours de la même saison. Cette gestion particulière de l'espace vise à limiter les risques. Il ne s'agit pas seulement de cultiver des terrains étendus dont les caractères obéissent à des gradients le long des versants (ROCKSTRÖM et DE ROUW, 1997), mais aussi de répartir les risques de sécheresse localisée et d'attaque par des ravageurs, en veillant à la dispersion et l'éloignement des champs. En 1992 et 1994, des écarts de 100 millimètres de pluie cumulée au cours du cycle ont été enregistrés sur des champs distants seulement de 5 kilomètres.

Les cultures sont concentrées sur les piémonts et versants sableux, sur les

cordons dunaires et sur des chanfreins (figure 1, tableau 1). Les plateaux et les bas-fonds, peu aptes à la culture, sont des zones de pâturage. À Banizoumbou, subsistent quelques réserves de terres, d'où la coexistence de systèmes de culture sur jachère peu ou assez dégradée et de systèmes de culture avec fumure organique. Proche du village et dans la partie sud du terroir, le mil est cultivé pendant 4-6 ans sans intrant, en alternance avec une jachère courte de 3-5 ans. Plus loin des habitations et dans la partie nord du terroir, les cycles culture-jachère sont généralement plus longs : 5-10 ans de culture sans intrant avec des jachères de plus de 15 ans.



Les champs fumés peuvent être situés à proximité ou non du village. L'application est effectuée soit dès la deuxième année de mise en culture, soit au bout d'une période de culture sans intrant. Par opposition aux systèmes de culture avec jachère, les champs fumés correspondent à une culture permanente car les paysans n'ont pas l'intention de les mettre en jachère. Le plus ancien champ fumé sur le terroir de Banizoumbou avait 19 ans en 1997.

Les techniques de semis, sarclage, démariage et récolte sont identiques pour les différents systèmes de culture. Le mil est semé après creusement de trous (poquets) et rebouchage juste après. Ainsi, sont semées de grandes surfaces avec une faible densité (moyenne de 7 000 poquets/ha), au cours de la période comprise entre un et trois jours qui suivent la première grosse pluie de la saison (plus de 15 mm).

Le sarclage constitue le seul travail du sol. Il est réalisé à l'aide d'une lame courbe (iler) travaillant à très faible profondeur. Cet instrument, adapté à cultiver des sols sableux, est très généralisé au Sahel. Il entraîne non seulement la coupe des mauvaises herbes, mais aussi la destruction des croûtes superficielles. Le grattage superficiel à l'iler, généralement en deux passages, constitue le travail le plus lourd qui occupe les paysans continuellement de 15 à 70 jours après semis.

## Préparation de la fumure organique

La fumure est préparée et appliquée sous trois formes : la stabulation des animaux dans la concession, la stabulation nocturne à l'attache au champ, le parage extensif des animaux.

Lorsque les animaux sont en stabulation dans la concession, on obtient alors de la poudrette. Cette pratique ne concerne que des surfaces très réduites (d'une dizaine de m<sup>2</sup>), le nombre d'animaux concerné est faible, et le coût du transport au champ élevé (par charrette ou sur la tête).

## La conduite de l'expérimentation

Une enquête préliminaire a permis de différencier quatre modes de gestion sur le terroir de Banizoumbou. Dans l'analyse, chaque mode de gestion était représenté par 3 à 5 champs et la période de suivi était de 1 à 4 ans (tableau 1). Chaque champ comprend deux transects de 100 mètres. Le dispositif en transect recoupe les hétérogénéités de terrain les plus manifestes, principalement liées aux mouvements de l'eau. Le découpage de chaque transect en 20 placettes, dont la petite taille de 5 x 5 mètres correspond aux hétérogénéités de terrain, a permis d'intégrer dans l'analyse de sol et de la culture, les irrégularités du terrain.

### Observations par champ

Pluie journalière, itinéraire technique par enquête hebdomadaire.

### Observations par placette

Le mil : levée, composantes du rendement, rendement en grain, biomasse.

Le terrain : estimation de la quantité de fumure déposée, quantité de résidu de culture, surface encroûtée à la fin de la saison des pluies et avant le sarclage.

### Analyse annuelle du sol de chaque placette

Analyse du sol : chimique, texture (0-20 cm) à la fin de la saison des pluies.

L'analyse annuelle du sol de chaque placette étant trop coûteuse, nous avons pris trois mesures.

- Un échantillonnage stratifié par champ. Les hétérogénéités du terrain ont été groupées en 5 types (strates) :
  - 1, surface sableuse assez uniforme ;
  - 2, ravines ;
  - 3, zone d'épandage des sédiments charriés par les crues ;
  - 4, croûte d'érosion ;
  - 5, dépression avec croûte de décantation.

Une strate est attribuée à chaque placette. Chaque strate est échantillonnée séparément.

- Des échantillons composites des placettes contiguës appartenant à la même strate sans dépasser 4 placettes par strate.
- Une allocation optimale par strate, après l'étude de l'écart type de chaque strate. Dans le cas d'un écart type réduit, un petit nombre d'échantillon suffit. A l'inverse, pour un écart type élevé, un plus grand nombre d'échantillons est nécessaire. Ainsi, le nombre d'échantillons à analyser par champ est varié. Le minimum a été de 10 échantillons, où les 40 placettes appartenaient toutes à la même strate, et le maximum a été de 14, où les 40 placettes appartenaient à 3 strates différentes.

Tableau 1. Typologie des champs selon leur mode de gestion et les années de suivi par champ. L'emplacement des champs (1 à 15) est indiqué sur la figure 1.

N° champ	Nombre d'années de culture en			
	1993	1994	1995	1996
<b>Mise en culture après une jachère de plus de 15 ans</b>				
– cycle de 10 ans de culture sans intrant				
1	3	4	5	6
2	3	4	-	-
3	3	4	5	6
4	3	4	-	-
– culture avec fumure organique				
5	13	14	15	16
6	13	14	-	-
7	-	-	17	18
<b>Mise en culture après une jachère de 3-5 ans</b>				
– cycle de 4-6 ans de culture sans intrant				
8	3	4	-	-
9	3	4	-	-
10	3	-	-	-
11	3	-	-	-
12	-	-	3	4
– culture avec fumure organique				
13	+ de 10	-	-	-
14	+ de 10	-	-	-
15	-	-	11	12

En stabulation nocturne à l'attache au champ, la fumure produite consiste en un apport de déjections et d'urine déposées et mélangées avec du sable, là où les animaux sont attachés. Cette pratique, peu courante, exige beaucoup de travail (couper, poser, déplacer les piquets) et ne concerne que quelques centaines de mètres carrés.

Enfin, le parage extensif des animaux se fait après la récolte, tant qu'il persiste des résidus de culture, le bétail reste jour et nuit dans les champs. Une fois cette réserve épuisée, les troupeaux passent la journée à pâturer dans les jachères et sur les plateaux et regagnent les champs la nuit. En début d'hivernage, zébus et caprins peuvent rester jour et nuit dans les champs. Il s'agit de la courte période au cours de laquelle les troupeaux pâturent les mauvaises herbes : les jeunes pousses de mil sont trop amères et la culture associée, très appréciée, n'a pas encore levé. Les animaux passent la nuit, soit en liberté, soit près d'un enclos où sont attachés les veaux, autour desquels se regroupe la plupart du bétail. En déplaçant les veaux, on assure la rotation du parc. Dans l'auréole où ont été concentrés les animaux, 0,1 à 5 tonnes par hectare de bouses sont déposées. Généralement, la surface de cette auréole n'excède pas un hectare. Cette troisième forme d'application de la fumure est de loin la plus fréquente dans la région. Elle est pratiquée par les éleveurs peulhs sédentarisés et des paysans zarma qui disposent de leur propre bétail pour assurer le parage. Le parage d'animaux est également pratiqué par les agriculteurs zarma possédant peu de bétail, mais relativement aisés, qui peuvent conclure un contrat de parage avec un éleveur peulh nomade. Le Peulh, avec son troupeau de bovins ou bovins et caprin, campe dans le champ. Le paysan est tenu de lui construire une demeure, un enclos, et de lui fournir entre 5 et 10 kilos de mil par semaine. Un contrat de parage peut couvrir toute la saison sèche. Lors du parage extensif, les bouses sèchent rapidement sur place où la température à la surface du sol atteint 70 °C en saison

sèche chaude (RAJOT, comm. pers.). Elles restent entières ; c'est par hasard que les animaux les piétinent, sans mélange d'urine. Cette urine, en l'absence de piétinement par les animaux, forme, avec le sable, des croûtes superficielles où la levée du mil est mauvaise. Ces croûtes disparaissent un mois environ après les premières pluies.

### Qualité et quantité de la fumure

L'analyse des bouses sèches montre qu'il s'agit surtout d'un amas de carbone, pauvre en éléments fertilisants (tableau 2). Du fait de la sécheresse et de la pauvreté des pâturages sahéliens, fumer les champs demeure une opération difficile. Pour que l'agriculteur puisse restituer par le fumier les éléments nutritifs exportés dans les grains de mil (600 kg/ha), il lui faudrait 50 hectares de pâturage pour nourrir les troupeaux de zébus parqués la nuit sur 1 hectare de champ pendant la saison sèche (SCHLECHT *et al.*, 1995).

De plus, les quantités appliquées dans la zone d'étude sont faibles — de l'ordre de 0,1-5 tonne par hectare et par an. Pour récupérer 8,7 kilos de phosphore et 71 kilos d'azote, soit à peu près les éléments nutritifs contenus dans 5 tonnes de bouses sèches, il faut parquer 8 zébus de 300 kilos pendant 8 mois au champ et récupérer l'ensemble des fèces et de l'urine (POWELL *et al.*, 1996). Les teneurs en éléments nutritifs des bouses à Oursi, au nord du Burkina Faso, sont encore plus faibles que celles du Niger, mais les apports se trouvent compensés par des quantités plus importantes de déjections déposées — 1,2 à 1,8 tonne par hectare et par an pour des parcelles faiblement fumées (QUILFEN et MILLEVILLE, 1983). Le même système extensif de parage a été décrit à Oursi. Toutefois, si les apports nutritifs sont faibles, les bouses de zébus représentent une masse importante de matière organique : un zébu de 250 kilos rejette en saison sèche environ 8 kilos de fèces par jour, soit 1,8 kilo de bouses sèches (SCHLECHT *et al.*,

1995). Parmi l'ensemble des systèmes africains de gestion de la fumure, LANDAIS et LHOSTE (1993) désignent ce système comme celui qui nécessite le moins de travail et qui correspond au début d'un processus d'intensification.

## Résultats et discussion

### Matière organique et éléments fins

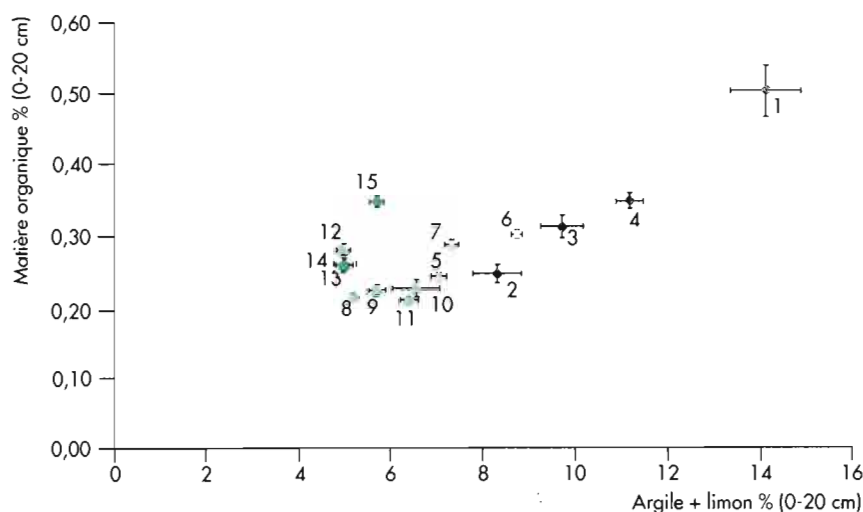
La figure 2 montre la relation entre le taux de matière organique et le taux d'éléments fins des couches supérieures des sols cultivés (0-20 cm). Chaque point représente la moyenne d'un champ, avec l'incertitude ( $P < 5\%$ ) de l'estimation des moyennes (figure 2a). Les champs cultivés sur jachère et sans intrant sont représentés par des carrés. Tous les champs sont dans leur troisième année de culture après jachère. Les champs qui reçoivent de la fumure organique sont représentés par des ronds et des triangles. En ce qui concerne les sols cultivés sans apport de fumure (à droite de la figure 2a), ces champs montrent des teneurs en matière organique et en éléments fins relativement élevées. Ce sont des sols cultivés d'une façon extensive avec de longues périodes de jachère (sites 1, 2, 3 et 4 du tableau 1). Les champs cultivés plus intensivement sont regroupés à gauche de la figure 2 : plusieurs cycles de culture en alternance avec des jachères relativement courtes. Ces champs sont caractérisés par des teneurs de matière organique et d'éléments fins plus basses (sites 8, 9, 10 et 11 du tableau 1).

La ligne continue (figure 2b) est établie avec des données des champs cultivés sans apport de fumure organique. Elle montre l'évolution de la couche supérieure du sol et ses pertes graduelles en éléments fins et en matière organique lors des mises en culture de plus en plus fréquentes. Les sols qui reçoivent périodiquement des apports de fumure sont situés au-dessus de la ligne. Ces champs sont dans leurs 11<sup>e</sup> et 17<sup>e</sup> années de



Tableau 2. Analyse des bouses de vache à l'état sec (g/100 g).

	Matière organique	N total	P total	K total	Source
Banizombou, Niger	47	1,42	0,174	0,717	DE ROUW <i>et al.</i> , 1998
Sadoré, Niger	-	1,32	0,16	-	BROUWER et POWELL, 1996
Oursi, Burkina Faso	-	1,28	0,11	0,46	QUILFEN et MILLEVILLE, 1983
Saria, Burkina Faso	48	2,1	0,22	3,47	SCHLEICH, 1986
Nord du Nigeria	48	1,5	0,26	0,9	SANDFORD, 1989

Figure 2a. Total de 15 points avec l'incertitude sur l'estimation des moyennes ( $P = 0,95$ ). La numérotation des champs correspond à celle de la figure 1 et tableau 1.

- ◆ Cycles de plus de 15 ans de jachères et 10 ans de culture sans intrant.
- Cycles de 3-4 ans de jachère et 4-6 ans de culture sans intrants. Les champs cultivés sans intrants sont dans leur 3<sup>e</sup> année de culture.
- Mise en culture après plus de 15 ans de jachère et culture permanente avec fumure organique.
- Mise en culture après 3-4 ans de jachère et culture permanente avec fumure organique.

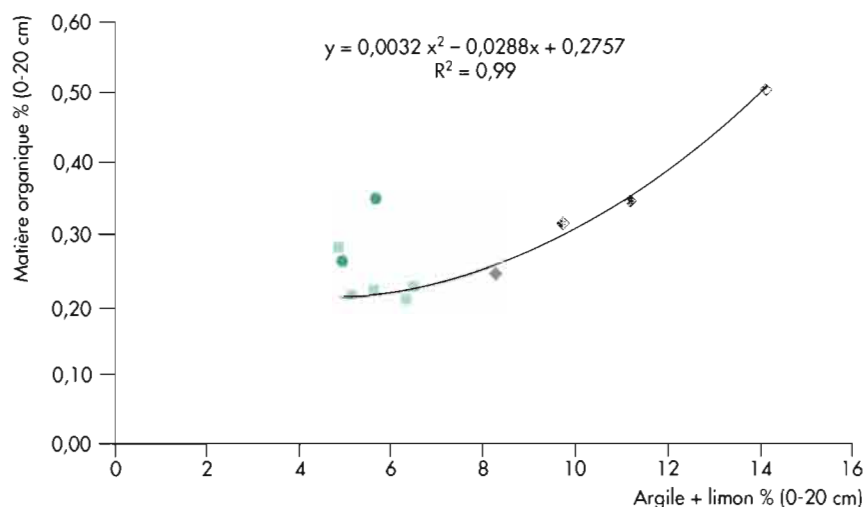


Figure 2b. Régression avec tous les points carrés — champs cultivés sans intrants sur jachère. Les champs qui reçoivent de la fumure organique se trouvent au dessus de la ligne.

Figure 2. Relations entre matière organique et éléments fins des sols cultivés en mil selon 4 modes de gestion (Niger, 550 mm/an).

cultures consécutives. Certains sols (triangles) présentent un taux d'éléments fins relativement élevé. Ce sont des champs défrichés dans des vieilles jachères (sites 5, 6 et 7 du tableau 1) et leur mise en culture est assez récente. D'autres sols (représentés par des ronds) montrent un taux d'éléments fins plus bas. Ces champs ont connu plusieurs cycles de culture-jachère, puis, devenus trop pauvres, ils reçoivent maintenant du fumier (sites 13, 14 et 15 du tableau 1). Un champ cultivé sur jachère (site 12, tableau 1) présente un taux de matière organique semblable aux champs fumés. Quoique cultivé sans intrant, ce champ est entouré de jachères qui servent de pâturages aux troupeaux utilisant le champ comme couloir de passage : leurs déjections peuvent expliquer le taux de matière organique relativement élevé.

## Processus d'accumulation et de perte

Au cours de la jachère, les biomasses aériennes et souterraines augmentent. Puis, avec la chute des feuilles et l'activité faunistique du sol, le taux de matière organique du sol croît avec le temps lorsque la parcelle est laissée en repos. Les effets bénéfiques de la mise en jachère sont recherchés à moyen et à long terme, grâce à une amélioration du sol à la fois biologique et chimique : remonter les éléments nutritifs vers la surface grâce au système racinaire, améliorer la structure, stimuler l'activité faunistique, éliminer les adventices et les parasites de la culture.

En zone sahélienne, les vents chargés de poussière sont fréquents. En saison sèche, les arbustes piègent des quantités importantes de poussières qui seront restituées au sol lors des premières pluies. Plus la végétation aérienne est importante, plus la jachère a eu le temps de se développer, plus elle favorise les dépôts et donc un enrichissement du sol en argile et en limon (AMBOUTA *et al.*, 1996). Lors de la mise en culture, non seulement l'apport de biomasse cesse, puisque la végétation est coupée, mais

les dépôts d'éléments fins cessent également, faute d'obstacle à la surface du sol. Avec le rallongement de la période de culture, le stock organique diminue et les éléments fins sont sujets à l'érosion éolienne et hydrique. L'érosion éolienne est accélérée par l'émiettement du sol dû au travail de défrichage et aux sarclages. Les pertes de matière organique et d'éléments fins se trouvent ainsi renforcées par la succession des cycles culture-jachère, en particulier si les jachères sont courtes (AMBOUTA *et al.*, 1996).

La courbe de la figure 2b montre ainsi la dégradation des sols cultivés par leur mise en culture fréquente, par le raccourcissement de la période de jachère et par une culture sans intrant. L'apport de la fumure organique, même à faible dose et de qualité médiocre, peut toutefois pallier ou au moins ralentir la diminution du stock de matière organique. Mais les défrichements et sarclages répétés ne peuvent pas empêcher la perte d'éléments fins par l'érosion.

Les relations, le plus souvent linéaires, entre taux de matière organique et éléments fins sont bien connues. PIERI (1989), FELLER et BEARE (1997) en ont établi pour les groupes de sols cultivés avec ou sans apport organique, en général plus argileux (10 et 80 % 0-20  $\mu\text{m}$ ). Ici, cette relation concerne des sols très sableux avec des teneurs en matière organique extrêmement faibles.

## Encroûtement superficiel

Les sols sableux du Niger s'encroûtent facilement. L'énergie cinétique des gouttes de pluie détruit facilement les agrégats, particulièrement lorsque la surface du sol est sableuse. Cette

désagrégation s'accompagne d'une disjonction entre les particules sableuses et les éléments fins (argile, limon et matière organique ; VALENTIN, 1981). Ceux-ci colmatent les pores et réduisent considérablement l'infiltration (CASENAVE et VALENTIN, 1992). Entre le semis et le premier sarclage, la présence des croûtes se révèle particulièrement gênante, car, outre des réductions d'infiltration, elles peuvent contrarier la levée des semences du fait de leur dureté.

Les champs sont d'autant plus encroûtés que la surface du sol est plus riche en éléments fins. Le taux d'encroûtement varie selon le mode de gestion (tableau 3). Les risques sont maximaux là où les taux d'éléments fins de la couche supérieure du sol sont proches de l'optimum textural pour l'encroûtement, à savoir 10 % d'argile + limon (POESEN, 1986). De plus, le seuil d'apparition des croûtes est d'environ 5 % d'argile + limon (AMBOUTA *et al.*, 1996). La majorité des champs étudiés se situe dans cette fourchette (figure 2a).

## Stabilité des agrégats

Il existe d'étroites relations entre la teneur en matière organique et la stabilité structurale des agrégats. Un taux élevé de matière organique, agent hydrophobe, réduit la mouillabilité des agrégats et diminue les risques d'éclatement lors de l'humectation. PIERI (1989) a montré, pour des sols très sableux, que de faibles variations de teneur en matière organique pouvaient entraîner une dégradation, ou au contraire une amélioration, de la structure superficielle du sol. La diminution du stock organique qui accompagne une période de culture induit donc une instabilité structurale. L'en-

croûtement superficiel est renforcé si, lors de la période de culture, le stock en matière organique baisse plus vite que celui des éléments fins (PIERI, 1989). L'application de fumure à la surface du sol permet de lutter contre l'instabilité croissante des agrégats, et en conséquence, contribue à la réduction de l'encroûtement.

## Protection des champs

Les risques d'encroûtement diminuent quand la couverture du sol peut absorber une partie de l'énergie avec laquelle l'eau de pluie atteint la surface. Cette couverture peut comprendre des résidus de culture, des herbes sèches, des branches coupées ou non, des ligneux, mais également les bouses et crottes des animaux domestiques. Ils constituent autant d'obstacles à l'agressivité des pluies.

Les résidus de culture, adventices et bouses protègent également la surface d'un champ par un autre mécanisme. A la fin de la saison sèche, les champs sont couverts d'un horizon de sable meuble d'épaisseur variable (quelques millimètres à 10 cm) qui repose sur les horizons sous-jacents compacts. Le début d'hivernage est marqué par des vents violents et ce sable meuble est balayé. Il s'accumule là où subsistent non seulement des obstacles végétaux mais aussi des bouses. Les dépôts de sables éoliens constituent des zones très perméables ; en revanche, l'eau s'infiltre très peu dans les zones encroûtées (VALENTIN et BRESSON, 1992). Les pourcentages respectifs des zones encroûtées et de dépôts éoliens à la surface des parcelles traduisent leur aptitude à l'infiltration.

La protection du champ fournie par des obstacles à la surface du sol reste

Tableau 3. Influence du mode de gestion sur la proportion de surface encroûtée entre la levée et le premier sarclage et sur le rendement en mil. Fumure organique : 0,1-5 t/ha/an ; n = nombre d'années x champs.

Gestion	Encroûtement superficiel (%)	Rendement (kg/ha)				n
		Moyenne	Min.	Max.	CV %	
<b>Mise en culture après une jachère de plus de 15 ans</b>						
– cycle de 10 ans de culture, sans intrant	32	395	246	804	42	12
– culture avec fumure organique	11	369	242	511	27	8
<b>Mise en culture après une jachère de 3-5 ans</b>						
– cycle de 4-6 ans de culture, sans intrant	10	169	45	253	39	8
– culture avec fumure organique	4	399	323	464	18	4



nécessairement incomplète. On trouve rarement plus de 5 % de la surface du champ couverts par les résidus de culture en début d'hivernage. D'une part, la quantité de biomasse produite est elle-même faible, entre 0,5 et 2 tonnes par hectare de matière sèche. D'autre part, les grosses tiges du mil sont utilisées pour la construction ou sont ramassées pour être données aux animaux domestiques gardés au village. L'application de 0,1 à 1 tonne par hectare et par an de bouses assure une couverture de 0,5 à 5 % de la surface, tandis que 5 tonnes par hectare de bouses couvrent 15 à 20 % du sol en début d'hivernage. Bien que ces quantités soient faibles, cette masse est importante par son effet mécanique : elle augmente la résistance à l'érosion éolienne, elle piège le sable éolien et favorise ainsi l'infiltration (DE ROUW *et al.*, 1998).

## Productivité du mil

Une culture prolongée, avec de faibles quantités de bouses déposées au champ, permet de maintenir une productivité d'environ 400 kilos par hectare, malgré la pauvreté des bouses en éléments nutritifs (tableau 3). Les sols, cultivés sans intrant après une période de jachère de plus de 15 ans, produisent également en moyenne 400 kilos par hectare. Les terrains cultivés sans intrant en cycles répétés de 4-6 ans de culture et 3-5 ans de jachère sont peu productifs, 200 kilos en moyenne. Les variations interannuelles de rendement sont importantes, principalement à cause des sécheresses — de l'ordre de plus ou moins 100 kilos pour tous les types de champ. En général, les champs cultivés sans intrant après jachère ont des rendements beaucoup plus variables, dus à la variabilité du peuplement. L'hétérogénéité du terrain se trouve essentiellement dans les champs cultivés sur jachère.

Ces niveaux de rendements sont normaux pour une culture paysanne de mil dans cette zone de pluviométrie. L'indice de la récolte (rendement en grains/biomasse sèche totale) x 100, dont la valeur basse est propre au mil,

varie entre 23 % après une jachère longue et 16 % pour des champs fumés.

## Conclusion

La faible quantité d'intrants, de qualité médiocre, fournie annuellement par les bouses et les crottes, permet de ralentir ou de stopper la dégradation du sol ; l'apport de la fumure permet aux cultivateurs d'allonger la durée de culture. Les sols sableux où l'on cultive le mil sont non seulement pauvres en matière organique mais celle-ci se dégrade rapidement. Une voie possible pour parvenir à maintenir la fertilité consiste à mieux utiliser les déjections des animaux domestiques. Le développement agricole du Sahel repose dès lors sur les bienfaits de l'agro-pastoralisme, ces deux pratiques devant être mieux intégrées.

## Bibliographie

- AMBOUTA J.M.K., VALENTIN C., LAVERDIÈRE M.-R., 1996. Jachères et crottes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 7 : 269-275.
- BROUWER J., POWELL J.-M., 1996. Soil aspects of nutrient cycling in a manure application experiment in Niger. *In* Livestock and sustainable nutrient cycles in mixed-farming systems of sub-saharan Africa. Vol II: Technical papers, POWELL J.-M., FERNÁNDEZ-RIVERA S., WILLIAMS T.O., RENARD C. (Eds). Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 november 1993. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopie, p. 211-226.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. *J. Hydrol.* 130 : 231-249.
- DE ROUW A., RAJOT J.-L., SCHMELZER G., 1998. Effets de l'apport de bouses de zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger. *In* La conduite du champ cultivé. Point de vue d'agronomes. BIARES A. (éditeur). Editions Orstom, Paris, France, p. 95-112.
- D'HERBES J.-M., COURAULT D., TIMOUK F., VALENTIN C., 1992. Spacio-carte des états de surface du degré carré de Niamey. Orstom, Niger.
- FELLER C., BEARE M. H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79: 69-116.
- LANDAIS E., LHOSTE P., 1993. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. II. Les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture. *Cahiers Agricultures* 2 : 9-25.
- LOIREAU M., 1998. Espace – Ressources – Usages : Interactions milieux et sociétés dans le Sahel nigérien. Thèse de doctorat, université Paul Valéry, Montpellier 3, France (sous presse).
- LE HOUEROU H.-N., 1992. Relations entre la variabilité des précipitations et celle de productions primaire et secondaire en zone aride. *In* L'aridité : une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés, LE FLOC'H E., GROUZIS A., BILLE J.-C. (éditeurs). Edition Orstom, Paris, France, p. 197-220.
- NAGUMO F., 1992. Pedological environment and agro-ecological system of the Sudano-Sahelian zone in Niger, West Africa. Thesis for Master Course, Hokkaido University, Japon.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Cirad, France, Agridoc-International, Paris, France, 444 p.
- POESEN J., 1986. Surface sealing on loose sediments : the role of texture, slope and position of stones in the top layer. *In* Assessment of soil surface sealing and crusting. Callebaut F., Gabriels D., de Boodt M. (Eds). Flanders Centre for Soil Erosion and Soil Conservation, Gand, Belgique, p. 354-362.
- POWELL J.M., FERNÁNDEZ-RIVERA S., HIERNAUX P., TURNER M.D., 1996. Nutrient cycling in integrated rangeland/cropland systems of the Sahel. *Agricultural Systems* 52: 143-170.
- QUILFEN J.-P., MILLEVILLE P., 1983. Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale* 38 (3) : 206-212.
- ROCKSTRÖM J., DE ROUW A., 1997. Water, nutrients and slope position in on-farm pearl millet cultivation in the Sahel. *Plant and Soil* 195: 311-327.
- SANDFORD S.G., 1989. Crop residue / Livestock relationships. *In* Soil, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian Zone. RENARD C., VANDERBELDT R. J., PARR J. F. (Eds). Proceedings of an international workshop, 11-16 janvier 1987, Niamey, Niger. ICRISAT, Patancheru, Inde, p. 169-182.
- SCHLECHT E., MAHLER F., SANGARÉ M., SUSENBETH A., BECKER K., 1995. Quantitative and qualitative estimation of nutrient intake and faecal excretion of Zebu cattle grazing natural pasture in semi-arid Mali. *In* Livestock and sustainable nutrient cycles in mixed-farming systems of sub-saharan Africa. Vol II: Technical papers, POWELL J.M., FERNÁNDEZ-RIVERA S., WILLIAMS T.O., RENARD C. (Eds). Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopie, 22-26 novembre 1993. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopie, p. 85-98.
- SCHLEICH K., 1986. Le fumier peut-il remplacer la jachère ? Possibilité d'utilisation du fumier : exemple de la savane d'Afrique occidentale. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.* 39 : 97-102.
- VALENTIN C., 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Thèse de doctorat, université de Paris, France, 259 p.
- VALENTIN C., BRESSON L.-M., 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55: 225-245.

## Résumé... Abstract... Resumen

**A. DE ROUW — Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien. Fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture de mil, étude au Niger.**

Pour lutter contre la perte de fertilité des sols, les paysans les mettent en jachère ou apportent des bouses à la surface. Du fait des dépôts de poussières durant la jachère, la surface du sol s'enrichit en éléments fins et en matière organique. Pendant la culture sans intrant, le stock organique diminue et les éléments fins sont sujets à l'érosion éolienne et hydrique. La succession de cycles culture-jachère renforce ces pertes. L'analyse de l'horizon superficiel permet de distinguer les cultures sans intrant après plus de 15 ans de jachère (taux de matière organique du sol 0,50-0,25 %, argile + limon 14-8 %) ; les cultures sans intrant après 3-5 ans de jachère (0,20-0,25 %, 5-7 %) ; les cultures avec bouses après jachères longue et courte 3-5 ans (0,35-0,25 %, 9-5 %). L'encroûtement superficiel du sol à la mise en culture, entre 30 et 10 %, constitue un obstacle au développement du mil en réduisant l'infiltration. Le dépôt de bouses à la surface du sol (0,1-5 t/ha/an), outre les éléments nutritifs apportés, améliore la structure et réduit l'encroûtement (11-4 %). Par effet mécanique, il augmente la résistance à l'érosion éolienne. Pour les paysans, cet apport permet de ralentir ou de stopper la dégradation et d'allonger la durée de culture, avec des rendements assez stables (400 kg/ha).

**Mots-clés :** mil, matière organique, texture du sol, jachère, encroûtement superficiel, bouse, Niger.

**A. DE ROUW — Soil fertility management in the Sahel. Manure, organic matter and crust formation in the topsoil in milled-based farming systems, study in Niger.**

To control the loss of soil fertility, smallholders either fallow their land or apply manure. As dust is deposited during fallow, the topsoil is enriched with fine elements and organic matter. During cultivation, without inputs, organic stocks decrease and fine elements are eroded by the wind and rain. Successive crop-fallow cycles exacerbate losses. An analysis of the topsoil revealed a distinction between crops without inputs after over 15 years' fallow (soil organic matter content 0.50-0.25%, clay + loam 14-8%); crops without inputs after 3-5 years' fallow (0.20-0.25%, 5-7%) and crops with manure after long and short (3-5-year) fallow periods (0.35-0.25%, 9-5%). Crust formation in the topsoil on planting, between 30 and 10%, hinders millet development by reducing infiltration. In addition to supplying nutrients, manuring the soil surface (0.1-5 t/ha/year) improves the structure and reduces crust formation (11-4%). It also has a mechanical effect in increasing resistance to wind erosion. For smallholders, manuring can be a way of slowing or halting degradation and extending cropping periods, with relatively stable yields (400 kg/ha).

**Keywords:** millet, organic matter, soil texture, fallow, surface crust formation, manure, Niger.

**A. DE ROUW — Manejo de la fertilidad del suelo en un terruño saheliano. Fertilización animal, materia orgánica e incrustación superficial del suelo en los sistemas de cultivo del mijo estudio en Niger.**

Para contrar la pérdida de fertilidad de los suelos, los campesinos los ponen en barbecho o aportan bostas en la superficie. Debido a depósitos de polvos durante el barbecho, la superficie del suelo se enriquece de elementos finos y de materia orgánica. Durante el cultivo, sin insumo, las existencias orgánicas disminuyen y los elementos finos son sujetos a la erosión eólica e hídrica. La sucesión de ciclos cultivo-barbecho acentúa estas pérdidas. El análisis del horizonte superficial permite distinguir los cultivos sin insumo después de más de 15 años de barbecho (tasa de materia orgánica del suelo 0,50-0,25%, arcillo + limón 14-8 %) ; los cultivos sin insumo después de 3-5 años de barbecho (0,20-0,25%, 5-7%); los cultivos con bostas después de barbecho largos y cortos de 3-5 años (0,35-0,25%, 9-5%). La incrustación del suelo al ponerlo en cultivo, entre un 30 y un 10%, constituye un obstáculo para el desarrollo del mijo al reducir la infiltración. El depósito de bostas en la superficie del suelo (0,1-5 t/ha/año), además de los elementos nutritivos aportados, mejora la estructura y reduce la incrustación (11-4%). Por efecto mecánico, aumenta la resistencia a la erosión eólica. Para los campesinos, este aporte permite reducir o interrumpir la degradación y alargar la duración de cultivo, con rendimientos bastante estables (400 kg/ha).

**Palabras-claves:** mijo, materia orgánica, textura del suelo, barbecho, incrustación superficial, bostas, Niger.



L'aménagement des zones de culture vise en premier lieu le contrôle du ruissellement et la réduction de l'érosion : culture en courbes de niveau avec bandes d'arrêt associant le pois d'Angole (*Cajanus cajan*) et des graminées pérennes (*Panicum maximum*). Zone cotonnière du nord du Cameroun.

P. Dugué

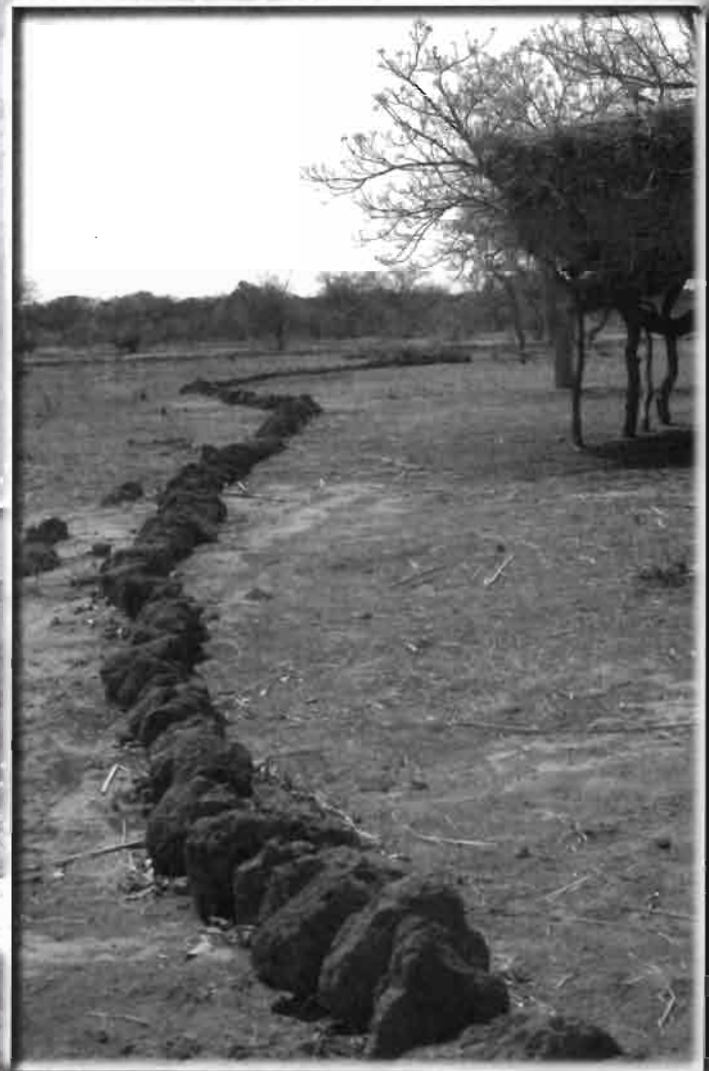


L'association *Faidherbia albida* cultures : cette pratique de gestion des sols est adaptée aux zones soudano-sahéliennes. Région de Maroua, nord du Cameroun.

P. Dugué

Le cotonnier, la culture la plus fertilisée dans l'ensemble de la zone soudanienne. Zone cotonnière du nord du Cameroun.

P. Dugué



L'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures par la limitation du ruissellement est un préalable à toute pratique de fertilisation en zone soudano-sahélienne.

Yatenga, nord du Burkina Faso.

P. Dugué





Semis direct du cotonnier sur mulch d'avenices détruites par un herbicide : une technique qui limite l'érosion et la minéralisation de la matière organique.  
Zone cotonnière du nord du Cameroun  
P. Dugué

Développement du *Mucuna pruriens* après la récolte de maïs : une association de cultures qui limite le développement des mauvaises herbes en fin de saison des pluies. Cette plante peut être exploitée comme production fourragère ou laissée sur place comme mulch de couverture dans lequel peut être semée une culture.  
Zone cotonnière du nord du Cameroun.  
P. Dugué



Compostage des restes de pailles de mil en fin de saison sèche avec adjonction de phosphate naturel. Sine Saloum, Sénégal.  
P. Dugué

Cette prise de vue illustre deux thèmes. Le premier est le conseil au producteur. Il dépasse le cadre des productions végétales et doit concerner toutes les composantes de l'exploitation agricole — élevage, transformation et commercialisation des produits, aide à la gestion économique... Le second est l'élevage. La stabulation traditionnelle des bovins au piquet dans la cour de la concession entraîne des pertes importantes de fumure minérale.  
Zone cotonnière du nord du Cameroun.  
P. Dugué





# La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne

## Diagnostic et perspectives

En Afrique de l'Ouest et du Centre, de nombreux travaux attestent la spécificité du fonctionnement du système sol-plante dans les sols sableux de la zone à une seule saison des pluies. Cette spécificité, liée aux conditions pédoclimatiques qui prévalent dans cette région, peut se résumer ainsi : la nutrition minérale, azotée et hydrique, est sous la dépendance étroite d'un pool organique du sol, rendu mobilisable en partie par une activité biologique (pic de minéralisation) et une activité rhizosphérique prépondérantes en sols tropicaux. Il en résulte que le système racinaire — cinétique, biomasse y compris exsudats, profondeur et activité — et le pool organique du sol, dont une fraction est mobilisable et interceptée par les racines, sont deux variables pertinentes de l'intensification, en forte interaction. Pour assurer l'entretien de ce pool organique, un éventail de pratiques est envisageable, telles que fertilisation minérale, jachère, fumures par des matières organiques non transformées ou transformées par l'animal ou par compostage. Parmi ces pratiques, dans les systèmes en voie d'intensification, il est clairement montré que seule la fumure organique (fumier, compost ou matières végétales riches en fibres) combinée à la fertilisation minérale accroît les rendements et les stabilise d'une année l'autre (PIERI, 1992).

**A** notre connaissance, la pratique du compostage, incluant la fabrication du fumier, est en voie de développement au Burkina Faso, au sud du Mali et au Sénégal plus récemment. En voici quelques manifestations : le Burkina Faso a lancé en 1986 une campagne nationale sur le thème « une famille rurale, une compostière » (revue *Spore*, 1989) ; dans la zone cotonnière de ce pays, la technique des parcs d'hivernage produisant un fumier amélioré s'est bien développée (BERGER *et al.*, 1987). Au Mali, la réussite de la

filière cotonnière dans le sud repose en grande partie sur une stratégie de développement du fumier en milieu paysan (SANOGO, 1997). Au Sénégal, dans la zone cotonnière, on note le succès de la stabulation en Haute-Casamance (LY *et al.*, 1997). Malheureusement, malgré ces indicateurs de tendances très favorables, il subsiste nombre de facteurs limitants ; en plus des problèmes de transport, contrainte majeure de l'agriculteur, la quasi-totalité des fumiers épandus ont des qualités fertilisantes et sanitaires et des qualités d'amendement médiocres.

---

F. GANRY

Cirad, BP 5035,  
34032 Montpellier Cedex 1, France  
Mél : ganry.f@cirad.fr

A. BADIANE

Isra, route des hydrocarbures, Bel Air,  
BP 3120, Dakar, Sénégal

Dans la présente note, après une approche sur le diagnostic des grands types de fumier et sur la façon d'évaluer leur qualité agronomique, nous aborderons une réflexion sur la faisabilité du fumier et de son épandage, et sur la nécessité d'optimiser sa qualité agronomique, sa production et son mode d'application dans le système de culture.

## Diagnostic des principaux types de fumiers

### Poudrette de parc, terre de parc et fumier de parcage

En zone sahélo-soudanienne, le fumier de parcage, appelé poudrette<sup>1</sup> de parc, est composé principalement de déjections ; il ne permet pas de restituer au sol la totalité des principes nutritifs exportés par les cultures, ce que montrent les résultats du tableau 1. La valeur fertilisante d'un parcage diminue rapidement dans le temps en raison de l'action des termites. La question pertinente est de savoir où partent ces éléments nutritifs, sans réponse satisfaisante à ce jour. Afin d'évaluer l'apport d'éléments nutritifs, il est nécessaire :

- de connaître l'âge du parcage ;
- de faire plusieurs prélèvements de déjections séchées pour quantifications et analyses ; dans la parcelle, les lieux de prélèvements doivent être déter-

1. D'après BOULAIN dans son ouvrage *Histoire de l'agronomie* (1992, édition TEC&DOC), on appelait poudrette en France au 18<sup>e</sup> siècle « l'engrais flamand » d'origine humaine, séché et déposé depuis des siècles dans des carrières et utilisé comme engrais organique.

minés au hasard, le prélèvement se faisant à l'intérieur d'un cercle tracé à l'aide d'une corde de dimension connue ;

- de connaître le nombre de parcages antérieurs sur la même parcelle.

De nombreuses études sur ces parcs ont été conduites depuis une quinzaine d'années : principalement celles du Cirad (LHOSTE, 1986), de l'Icrisat (BROUWER et BOUMA, 1997), de l'Ilri (HIERNAUX *et al.*, 1997) et de l'Orstom (DE ROUW, 1998), en collaboration avec les systèmes nationaux de recherche agricole respectifs des pays concernés. Ces études portent respectivement sur la gestion du bétail et l'évolution du système agropastoral, sur les transferts de fertilité par le bétail et sur le rôle du parcage dans la résistance à l'érosion des sols. Au Niger, l'Icrisat a montré l'importance de l'effet combiné de la position topographique de la parcelle, du type de bétail et de la quantité de fumier appliqué sur le rendement du mil : à titre d'exemple, en topographie plane, un pacage bovin nocturne dans un enclos a fourni 1,5 tonne par hectare et par an de fumier et produit un rendement de 800 kilos par hectare de mil ; le bilan minéral net sol-plante est positif pour l'azote mais déficitaire pour le phosphore.

En zone plus humide, en région cotonnière notamment, la terre de parc peut être utilisée comme fertilisant. C'est le cas en culture attelée au sud du Tchad, où ce fumier, en l'absence de paille, est généralement appelé terre de parc ; d'après RICHARD et DJOULET (1985), la terre de parc, produite par une dizaine d'unités de bovin tropical, peut fertiliser une surface de 4 hectares à raison de 3 tonnes par hectare et par an, apportant ainsi 30 N - 20 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 48 K<sub>2</sub>O. La qualité des fumiers de parc est largement accrue par l'adjonction

de paille en couches successives en saison sèche, suivie d'un compostage en saison des pluies (BERGER *et al.*, 1987 ; LANDAIS *et al.*, 1991).

### Le fumier traditionnel

Le fumier traditionnel est produit dans la ferme. Chargé en sable, non composté, appelé poudrette, il est de mauvaise qualité fertilisante, sanitaire et organique ; à titre d'exemple, nous prendrons un fumier utilisé par les maraîchers de la vallée du Sine (région de Diourbel au Sénégal), dont la composition est donnée au tableau 2.

### Le fumier amélioré

Le fumier amélioré est produit également dans la ferme, dans un élevage partiellement sédentarisé au sein d'un système de production en voie d'intensification. Schématiquement, on peut dire que les techniques de fertilisation des cultures, de stabulation des animaux et d'apports d'eau pour le compostage doivent être mises en œuvre dans le système de production pour que le fumier soit amélioré, le compostage étant la phase essentielle de l'amélioration. A titre d'exemple, nous distinguerons trois types de fumier de bovins produits en stabulation, selon les matières végétales apportées (tableau 3).

Les teneurs sont exprimées par rapport à la matière sèche organique ; les apports de terre, fréquents dans la pratique, réduisent ces teneurs. Le fumier de foin de jachère est plus riche en phosphate, potasse et calcium, mais plus pauvre en azote ; inversement, le fumier de paille de mil et de sorgho est plus riche en azote mais plus pauvre en phosphore et en potassium. On peut très bien expliquer ces résul-

Tableau 1. Analyse chimique de déjections de bovins à l'état frais et après action au champ des termites (HAMON, 1972).

	Humidité % poids frais	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO + MgO	Cendres	
						totales	insolubles
Déjections fraîches	75,3	1,4	0,8	0,7	6,6	10,8	5,4
Déjections termitées (après 45 jours)	5,0	0,9	0,3	0,3	3,5	49,6	45,7

Tous les éléments sont en % du poids de matière sèche, sauf l'humidité (% poids frais).



tats par la richesse initiale en phosphore, potassium et calcium du foin : elle est supérieure à celle des pailles de mil et de sorgho, qui, produites en milieu paysan, sont plus pauvres en ces éléments que les pailles produites en culture fertilisée.

## Evaluation et caractérisation des fumiers

L'évaluation d'un fumier ou d'un compost doit rendre compte de sa valeur fertilisante, mais aussi de sa qualité sanitaire et de ses propriétés d'amendement organique. Sa valeur fertilisante peut varier grandement selon la nature des litières et la fertilisation des cultures qui fournissent ces litières. Le phosphore est souvent l'élément le plus limitant. Pour caractériser le fumier, plusieurs étapes sont indispensables.

### Caractériser sa provenance

Les informations dont il faut disposer sont les suivantes :

- nature de la litière et fertilisation reçue par le matériel végétal qui la constitue ;
- nature de l'alimentation fourragère des animaux ;

- apports d'eau pour le compostage ;
- traitement du fumier produit (tas, litière, fosse).

Echantillonner en vue de l'analyse chimique, organique et sanitaire

Pour ces analyses, il s'agit :

- d'exprimer l'humidité par rapport au poids frais ou à la matière sèche mais le préciser ;
- d'analyser au minimum l'azote total,  $P_2O_5$  et  $K_2O$  pour évaluer sa valeur fertilisante (composition exprimée par rapport au poids de matière sèche totale) ;
- d'analyser si possible le carbone total et le carbone des matières humiques totales (MHT) (BROSSARD *et al.*, 1985) pour déterminer le rapport C/N et évaluer le degré d'humification ;
- d'analyser si possible les fractions organiques telles que carbone soluble, cellulose brute, hemicellulose et lignine + cutine, permettant d'établir un indice de stabilité biologique (ISB) (LINERES et DJAKOVITCH, 1993) ou un indice d'amélioration du taux de carbone total du sol dont le carbone inclus dans les associations organo-minérales (NDF/CC, taux de fibres/contenu cellulaire, *Neutral*

*Detergent Fiber/ Cellular Content*) (PIERI, 1992). Ces deux indices rendent compte de l'aptitude des fertilisants organiques à induire une surminéralisation de la matière organique du sol et de sa fraction organo-minérale (phénomène à éviter) ou inversement à apporter des précurseurs de substances humiques (phénomène à favoriser) ;

- déterminer les cendres insolubles ( $SiO_2$ ).

### Evaluer le pourcentage de terre

Partant de la teneur en cendres insolubles ( $SiO_2$ ), en sachant que les pailles contiennent environ 7 % de  $SiO_2$  et une déjection de bovin environ 6 %, on peut estimer le pourcentage d'apport de terre dans le fumier et éventuellement expliquer les faibles teneurs en éléments fertilisants.

### Evaluation rapide du pouvoir fertilisant du fumier

L'analyse minérale du fumier n'est pas toujours possible. Il faut alors recourir à des estimations. D'après les résultats de HAMON (1972), on peut estimer qu'une tonne de fumier frais (45 % de matière sèche) produit en stabulation en saison des pluies, avec apport hebdomadaire de paille et incluant 35 % de terre humifère<sup>2</sup>, restitue au sol, en kilos :

N [5,0 - 6,0],  $P_2O_5$  [1,5 - 2,0],  $K_2O$  [6,5 - 7,0], MgO [2,5 - 3,0] et CaO [4,0 - 4,5].

Cinq tonnes de fumier par hectare (dose réaliste en zone soudano-sahélienne) à 45 % de matière sèche incluant la terre humifère apporteraient environ, en kilos :

30 N, 10  $P_2O_5$ , 35  $K_2O$ . Sur des fumiers du Burkina, BERGER (1996) trouve des valeurs médianes sensiblement égales : 23 N, 8  $P_2O_5$  et 34  $K_2O$ , mais cet auteur ne précise pas le pourcentage de terre contenu dans le fumier.

2. La terre humifère correspond, dans la fosse fumière ou dans la stabulation, à la dernière couche de fumier en contact avec le sol.

Tableau 2. Composition d'un fumier traditionnel non composté : fumier de cheval (HAMON, 1972).

Humidité % poids frais	C	N	$P_2O_5$	$K_2O$	Matières minérales totales	C/N
4,7	8,6	0,44	0,25	0,36	80	19

Tous les éléments sont en % du poids de matière sèche, sauf l'humidité (% poids frais). Ces fumiers traditionnels sont très variables car dépendant de l'espèce concernée (équidés, petits ruminants...), de la matière végétale et de la terre.

Tableau 3. Composition minérale, rapportée à la matière sèche totale, de trois fumiers prélevés sans la terre humifère, fumiers produits en stabulation et qui diffèrent selon la composition de la litière (GANRY, 1985).

	N	$P_2O_5$	$K_2O$	CaO	MgO
Fumier 1	2,5	0,53	1,76	2,60	1,35
Fumier 2	2,0	1,28	2,42	4,90	1,82
Fumier 3	2,2	1,05	4,80	2,97	2,12

Fumier 1 : pailles de mil et de sorgho et résidus de battage, produit chez un agriculteur ;

Fumier 2 : foin de jachère, produit en stabulation entravée et mis en tas ;

Fumier 3 : pas d'apport de litière, produit en stabulation libre.

Évaluation rapide de l'état sanitaire et des propriétés d'amendement du fumier

En l'absence d'analyses phytopathologiques et malherbologiques, de détermination du rapport C/N, des matières humiques totales, de l'indice de stabilité biologique et du taux de fibres/contenu cellulaire, il sera nécessaire de procéder à des évaluations qualitatives en se fondant sur les réponses apportées aux questions posées précédemment.

## Faisabilité de l'apport de fumier composté

Quatre conditions doivent être satisfaites pour fonder une politique de développement et d'utilisation réaliste du fumier (fumier de ferme et fumier de parc).

### Condition 1 : accroître la ressource fourragère

L'agriculteur doit disposer d'une ressource fourragère, condition *sine qua non* pour assurer l'élevage bovin qui est au cœur de la stratégie d'intensification des systèmes de production dans les zones soudano-sahéliennes et dans les zones soudaniennes, correspondant généralement aux zones dites cotonnières. Le bilan fourrager de l'exploitation, exprimé en nombre d'unités de bovin tropical qu'on peut alimenter moins le nombre d'unités de bovin tropical nécessaire, est fonction de l'utilisation du fourrage par stockage et de la capacité de charge des pâturages naturels. La disponibilité de ces derniers est déterminée par le pourcentage d'occupation des terres par les cultures, par les jachères améliorées et par les infrastructures.

Au sud du Mali, parmi les systèmes vulgarisés, la stabulation saisonnière semble le plus performant : les pourcentages moyens de terres cultivées (40 %) et de terres en jachère (13 %) et la charge animale moyenne (50 UBT/km<sup>2</sup>) sont sensiblement les mêmes, mais le solde du bilan four-

rager est supérieur. La vulgarisation met l'accent sur l'introduction des jachères améliorées et sur l'intérêt de leur exploitation sélective par pâture, en revanche l'introduction de la culture pure est déconseillée. Lorsque le taux des terres cultivées est élevé, l'introduction des cultures associées, telles que celle de maïs/dolique, améliore le bilan fourrager (BOSMA *et al.*, 1993).

### Condition 2 : estimer les disponibilités en biomasse végétale pour la litière

A l'instar du bilan fourrager, le bilan litière est la différence entre la disponibilité et les besoins. La disponibilité est constituée principalement des pailles de céréales non utilisées comme fourrage, mais aussi des tiges de cotonniers, des déchets de battage et des résidus divers.

En zone soudano-sahélienne, dans les conditions actuelles de l'agriculture traditionnelle, les disponibilités en pailles ont été évaluées, entre autres, au Sénégal et au Burkina Faso. En voici les principaux résultats : jadis destinées à la vaine pâture, les pailles sont maintenant en partie dérivées pour les besoins domestiques (25 à 40 %); 10 à 15 % seulement sont disponibles pour les animaux stabulés; pour la vaine pâture (fèces), il ne resterait maintenant que 25 à 60 % sur le champ (PICHOT, 1985; BADIANE, 1993). En zone soudanienne où domine la culture cotonnière, des disponibilités plus élevées (pailles et tiges de cotonnier) alliées à la pratique d'un élevage plus sédentarisé, assurent un potentiel de production de fumier plus élevé et déterminant dans la productivité des systèmes cotonniers; cependant, la disponibilité en litière peut poser un problème lorsque la jachère améliorée est insuffisante (BOSMA *et al.*, 1993). En zone sub-guinéenne, par exemple en agriculture traditionnelle du sud du Sénégal, parce que les réserves en biomasses végétales sont plus importantes mais la charge animale plus faible, la pratique du compostage se développe et les doses apportées peu-

vent atteindre 6 tonnes de matière sèche par hectare tous les deux ans (GANRY, 1991).

### Condition 3 : composter le fumier et l'apporter à des doses efficaces

En raison de la disponibilité en eau durant une période déterminée de l'année, la production de fumier composté en élevage partiellement sédentarisé est généralement limitée à cette période, essentiellement de juin à octobre, soit au maximum pendant 5 mois.

Cependant, l'intensification de la production de fumier a conduit à rechercher d'autres types de stabulation. C'est le cas au Mali de la stabulation saisonnière (signalée plus haut) pendant la saison sèche et le début de la saison des pluies, mode de stabulation adopté massivement par les agriculteurs (BOSMA *et al.*, 1993). Il existe peu de données dans la littérature permettant de prévoir la production de fumier  $Q = f(\text{nombre d'animaux, quantités de litière et de fourrage, durée de stabulation})$ . Nous citerons cependant les travaux de HAMON (1972), de FERNANDEZ-RIVIERA *et al.* (1993) et de BERGER (1996). Au Sénégal, HAMON (1972) montre que 4 unités de bovin tropical en stabulation de juin à octobre, en plus de leur ration fourragère, utilisent pour la litière en stabulation 1,5 tonne de paille de mil, et produisent 2,6 tonnes de matière sèche de fumier, déduction faite de la terre qui peut y être mêlée (terre humifère). Au Burkina Faso, FERNANDEZ-RIVIERA *et al.* (1993) et BERGER (1996) observent que 5 unités de bovin tropical, en parc d'hivernage pendant 5 mois, utilisent pour la litière de parc 4 tonnes de matière sèche de tiges de sorgho provenant d'un hectare, et produisent 6 tonnes de matière sèche de fumier. Ces auteurs trouvent sensiblement la même relation, fondée sur la matière sèche :

fumier = k paille, avec k compris entre 1,5 et 1,7, mais un rendement en fumier par unité de bovin tropical supérieur pour la stabulation en parc.



Dans les zones à potentiel de biomasse faible, l'apport d'une dose efficace est difficilement réalisable. A cet égard, BADIANE (1993) montre qu'au centre-nord du Sénégal, 60 % des champs fumés reçoivent environ 1 tonne de matière sèche par hectare et par an et 40 % entre 2 et 4 tonnes de matière sèche par hectare et par an d'un fumier non composté, donc de qualité médiocre.

Dans les zones à potentiel de production de biomasse plus élevé, l'apport d'une dose efficace est possible. A titre d'exemple, au sud du Mali dans le cas de la stabulation saisonnière, si l'on s'appuie sur le coefficient de transformation moyen de 1,6 (voir ci-dessus) et sur la production de paille en année à pluviométrie normale dans la région, on peut simuler le système suivant : 2 hectares de terre en rotation cotonnier-sorgho pourraient fournir, selon la modalité de fertilisation du système de culture appliquée, entre 6 et 8 tonnes de matière sèche par hectare de fumier tous les 2 ans, à condition d'assurer la ressource fourragère (SANOGO, 1997).

#### Condition 4 : pouvoir transporter et incorporer le fumier

S'il n'existe pas, comme nous venons de le voir, de problèmes insurmontables pouvant compromettre la fabrication du fumier ou du compost en zone soudanienne, en revanche, son utilisation rationnelle au champ se heurte souvent à des impossibilités d'enfouissement d'ordre technique et calendaire. C'est notamment le cas dans la zone centre-nord du Sénégal où, en raison des quantités globales faibles, en raison du manque de moyens de transport, les champs de case sont les seuls à être fumés au détriment des champs de brousse dont la fertilité se dégrade — baisse du pH et du phosphore assimilable (BADIANE, 1993). Un apport de phosphate naturel serait en première urgence à recommander, le phosphate étant par ailleurs plus facile à transporter que le fumier.

## Nécessité d'optimiser la qualité du fumier, la production et le mode d'apport au sol

« La production maximale de fumier de bonne qualité doit retenir l'attention des organismes de développement, qui mettront la priorité sur les techniques optimales. » Cette conclusion de BOSMA *et al.* (1993) écrite à l'issue d'une étude sur le rôle du bétail dans la durabilité des systèmes de production au sud du Mali exprime la préoccupation actuelle du développement d'une gestion des ressources naturelles. On a vu précédemment les conditions de la faisabilité d'un fumier amélioré par rapport à un fumier traditionnel. Ici, nous justifions l'intérêt d'aller encore plus loin dans cette amélioration en optimisant la qualité agronomique du fumier, sa production et son mode d'apport.

On optimise la qualité agronomique du fumier principalement en éliminant les germes pathogènes, en l'enrichissant et en l'inoculant. On optimise sa production en gérant l'eau, c'est-à-dire en l'utilisant plus efficacement pour induire la fermentation et prolonger celle-ci en saison sèche, et en l'inoculant. On optimise son mode d'apport en l'intégrant dans le système de culture. Il va sans dire que ces techniques doivent s'inspirer du savoir-faire des agriculteurs.

### Comment optimiser la qualité agronomique du fumier ?

#### Éliminer les pathogènes

L'apparition de la phase exothermique due à la fermentation des pailles est primordiale, car elle entraîne, à l'instar du brûlis, la disparition des germes pathogènes et des graines d'adventices (GANRY et SARR, 1983) et la destruction des zoospores et oospores de *Sclerospora* (MBAYE, 1994). Cette phase exothermique, inexistante dans le cas de la poudrette, caractérise le fumier amélioré.

Enrichir le fumier en azote et phosphore

On sait que la fixation biologique de N<sub>2</sub>, expérimentalement mise en évidence, permet au moins de maintenir, en présence de matière cellulosique, le stock d'azote de départ malgré les pertes. Le compost permet une solubilisation du phosphore et du calcium des phosphates naturels incorporés au début du compostage, d'où la possibilité de constituer une fumure organique N-P au niveau de la ferme, celle-ci apportant généralement assez de potassium pour atteindre un objectif de production d'une tonne par hectare, le potassium étant fourni par le sol et recyclé *via* les pailles (GUEYE *et al.*, 1986). BERTRAND (1998) donne une explication à la richesse potentielle en potassium des sols de la zone soudanienne.

Si possible inoculer le fumier et l'enrichir en matières végétales riches en fibres

Cela fait partie de l'optimisation des conditions de production de fumier, traitées ci-après.

### Comment optimiser la production du fumier ?

Gérer l'eau au cours du compostage

Si le compostage est démarré en saison des pluies, avec apport d'eau d'arrosage ou de ruissellement, l'humidité du compost (entretenu par les pluies) peut se maintenir en saison sèche jusqu'en mars-avril. Cette période est nécessaire à la maturation du compost durant 4 à 6 mois. Par une technologie appropriée on peut réduire, voire supprimer, les arrosages. Si le compostage est démarré en saison sèche, sa maturation a lieu en saison des pluies (GANRY et SARR, 1983).

Si possible, inoculer le fumier

L'inoculation du fumier ou du compost par des micro-organismes activant la biodégradation permet de réduire la durée du compostage et

pourrait accroître sa teneur en précurseurs de substances humiques. Au Burkina Faso, une telle inoculation a réduit cette durée d'environ 50 % induisant une économie d'eau et une réduction des temps de travaux notables<sup>3</sup> (SEDOGO *et al.*, 1992).

## Comment optimiser l'effet du fumier dans le système de culture ?

Un système de production en voie d'intensification requiert une gestion optimisée et appropriée des nutriments, donc en l'occurrence une gestion raisonnée de la fumure (fumier) et de la fertilisation (urée et engrais ternaire) au sein du système de culture, laquelle est déterminée par les conditions financières, opératoires et sociales, et les objectifs à atteindre. Il importe que les pratiques des agriculteurs soient économiquement optimum à court terme, mais que davantage d'investissement soit nécessaire pour soutenir une fertilité du sol durable (JANSEN, 1993). Citons l'exemple de Fonsébougou au Mali. Dans cette région, le fumier est apporté par les agriculteurs à une dose d'environ 5 tonnes par hectare tous les deux ans, suffisante pour atteindre des rendements acceptables, mais d'après SANOGO (1997), insuffisante pour équilibrer le bilan azoté : cet auteur montre que l'on peut optimiser l'effet du fumier en accroissant la dose de 5 à 8 tonnes par hectare de matière sèche (équilibre du bilan N) et en plaçant l'apport de fumier sur le cotonnier plutôt que sur le sorgho et inversement pour l'urée (accroissement de la productivité du système).

## S'inspirer du savoir-faire des agriculteurs

L'échec de nombreuses tentatives de vulgarisation *top-down* impose à la recherche-développement de revoir dans bien des cas l'orientation de son approche. PICHOT (1996) écrit : « l'intérêt de la connaissance des savoirs et savoir-faire des praticiens que sont les agriculteurs et les éleveurs pour orienter les travaux des chercheurs vers la mise au point de tech-

niques ou de système de culture prenant mieux en compte les ressources et dynamiques andogènes des milieux physiques et humains et l'aversion pour le risque des agriculteurs en situation précaire. » A titre d'exemple, citons dans la zone cotonnière du Burkina Faso, le développement des parcs améliorés, dits parcs d'hivernage (signalés ci-dessus) favorisé parce qu'il s'inspire des contrats traditionnels de fumure (LHOSTE, 1987).

## Les effets positifs attendus de cette optimisation

### Effet positif sur le pool d'azote mobilisable du sol

Cet effet est attesté par de nombreux essais qui montrent un accroissement significatif du pool d'azote mobilisable dû au fumier (BADIANE, 1993). Pour mettre en évidence ce résultat en milieu contrôlé ou au champ, de façon sûre et reproductible, on utilise le marquage isotopique permettant le calcul de la valeur A. Rappelons que la valeur A est une mesure conventionnelle du pool d'azote mobilisable du sol prospecté par le système racinaire de la culture ; de ce fait, cette valeur A est considérée comme un indicateur d'évolution de ce pool lorsque les conditions de sa mesure sont identiques.

### Effet positif sur l'humification de la matière organique du sol

Contrairement aux matières végétales peu ligneuses, le fumier, ou un produit organique transformé (compost), de par sa richesse en précurseurs de substances humiques, a la propriété de stabiliser le taux de carbone total du sol dont le carbone inclus dans les associations organo-minérales (matière organique humifiée) ; d'après PIERI (1992), le rapport taux de fibres/contenu cellulaire est un indicateur pertinent de cette propriété.

## Effet sur l'accroissement de la fixation biologique de l'azote atmosphérique par les légumineuses

Personne ne met en doute les effets bénéfiques des amendements organiques. Mais un mécanisme impliqué dans cette amélioration est souvent ignoré : la stimulation de la fixation biologique de N<sub>2</sub> des légumineuses à graines (arachide et soja par exemple) par les apports de fumier et de compost. L'accroissement de la quantité de N<sub>2</sub> fixé peut être spectaculaire. DOMMERGUES et GANRY (1991) citent des valeurs allant de 11 à 63 kilos par hectare sur une arachide cultivée au nord du Sénégal.

### Effet positif dans la lutte contre la sécheresse

On a montré, dans le nord du Sénégal, en conditions expérimentales, que la sécheresse, même sévère (pluviométrie comprise entre 200 et 300 mm), analysée sous l'angle de son effet sur la production végétale, est en partie contournée lorsque les sols sont fumés régulièrement par le fumier composté. Cette fumure, pour être réaliste, nécessite une gestion rationnelle des résidus de récolte dans le cadre d'une intégration de l'agriculture et de l'élevage, intégration malheureusement encore difficile, pour les raisons indiquées précédemment et pour des raisons sociologiques, dans toute la zone sahéenne (GANRY et CISSE, 1994).

### Effet positif sur la suppression des risques d'effets phyto-dépressifs des pailles

Après enfouissement des pailles, apparaissent généralement des problèmes de carence en azote et/ou de

3. Nous noterons, à cet égard, les excellents résultats en milieu rural en France de tels produits (accélérateurs biologiques et biofertilisants) fabriqués et commercialisés par la société SOBAC en France (GANRY et OLIVER, 1997).



phytotoxicité liés à la libération d'acides phénols. Par ailleurs, certains précédents culturaux, en particulier le sorgho, peuvent engendrer un effet dépressif sur la culture suivante (allélopathie). Le compostage des pailles, dans le premier cas, et l'apport de fumier, dans le deuxième cas, permettent de lever l'effet de ces facteurs limitants.

## Effet positif sur la valeur nutritionnelle

Pour le mil, les enfouissements de compost, et vraisemblablement de fumiers compostés, accroissent la teneur en protides des grains, quelle que soit la dose d'engrais azoté (+ 5 à + 8 %). En présence d'une dose moyenne d'engrais azoté, ils accroissent le taux de l'acide aminé indispensable à l'homme, le plus limitant, la lysine (+ 73 % à la dose 60 N). Ce dernier résultat est corroboré par l'augmentation du coefficient d'efficacité protidique, mesuré *in vivo* sur des rats (GANRY et BIDEAU, 1974).

## Conclusion

Améliorer la production du fumier en quantité et en qualité est un objectif prioritaire ; c'est pourquoi nous avons exposé ici toute une gamme d'approches permettant d'atteindre cet objectif.

On insistera, dans cette conclusion, sur le fait que la recherche-développement dispose d'un certain nombre d'outils utilisables pour induire ou stimuler significativement la fabrication et l'utilisation du fumier. C'est en se fondant sur cette idée que nous souhaiterions faire passer les cinq messages suivants :

– promouvoir la production du fumier en Afrique nécessite une « révolution fourragère tropicale ». Cette expression est de René DUMONT (*La démocratie pour l'Afrique*, p. 277), qui s'exprime ainsi par analogie avec le 18<sup>e</sup> siècle agricole européen dont la première étape du développement agricole, avec le fumier comme facteur de production majeur, fut celle des fourrages cultivés ;

– par effet de synergie avec l'engrais et par effet de transfert de fertilité opéré par les animaux, le fumier économise l'engrais mais, excepté dans de rares cas, il ne peut être considéré comme un substitut à l'engrais minéral. Un de ces cas est le fumier enrichi en phosphate naturel. On sait que dans un système de culture à rendement grain espéré de 1 tonne, ce phosphocompost peut assurer les besoins N-P-K de la culture, à condition que ce système de culture comporte une légumineuse dont les pailles soient recyclées au sol, directement ou par l'animal ;

– en zone sèche à risque climatique élevé, le fumier composté, apporté régulièrement et incorporé au sol, réduit les risques liés à la sécheresse ; pour fabriquer ce fumier composté, des techniques d'économie de l'eau existent. Cependant, lorsqu'il n'y a pas de véritable politique de gestion des résidus de récolte et de fumure des sols, ces systèmes sont pris dans la spirale sécheresse - pertes de biomasse végétale - baisse de fertilité du sol qui ne permet plus de produire suffisamment de fumier. Le fumier est pourtant un des moyens d'enrayer cette dégradation : les ressources en biomasse, alors trop faibles, doivent impérativement être accrues (l'agroforesterie et le phosphatage des terres par le phosphate naturel sont des solutions à privilégier) ;

– dans le souci d'assainir ses récoltes, l'agriculteur brûle les pailles pour tuer les graines adventices et les germes pathogènes, mais se prive d'une matière organique précieuse, le compostage qui, grâce à sa phase exothermique, peut conduire au même résultat d'assainissement ;

– le fumier améliore les récoltes en quantité (rendement) et en qualité (valeur nutritionnelle). La mise en évidence de l'amélioration du taux de lysine chez le mil est un résultat essentiel quand on sait que le sevrage de nombreux enfants se fait, avec un risque élevé de carence protidique, en passant du lait maternel à la bouillie de mil.

Dans un contexte écologique et sociologique où sécheresse et malnutrition menacent le Sahel, on voit toute l'importance prise par une intensification de la production de fumier et par son utilisation rationnelle.

## Bibliographie

BADIANE A. N., 1993. Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. Thèse du doctorat, Inpl, Ensaia, Nancy, France, 200 p.

BERGER M., BELEM P. C., DAKOUO D., HIEN V., 1987. La maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina-Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. Coton et Fibres Tropicales 42 : 201-207.

BERGER M., 1991. La gestion des résidus de récolte à la ferme. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 293-315.

BERGER M., 1996. L'utilisation de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. Agriculture et développement, numéro hors série, 1996.

BERTRAND R., 1998. L'organisation du milieu physique tropical, implications sur l'étude et l'aménagement des paysages agraires. Cas de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Agriculture et développement 18 : 5-10.

BOSMA R., BENALI M., DEFOER T., 1993. Pour un système durable de production : augmenter le bétail. Rôle des ruminants au Mali-Sud, dans le maintien du taux de matière organique des sols. In Elevage et cycle viable des éléments nutritifs dans les systèmes mixtes agriculture-élevage de l'Afrique sub-saharienne. Conférence Internationale Cipea/Ilca, 22-26 novembre 1993, Addis Abeba, Ethiopie, 12 p.

BROSSARD M., BALESDENT J., FELLER C., PLENECASSAGNE A., TURENNE J.-F., 1981. Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. Proceedings of the Caribbean Food Crops Society 20 : 68-73.

BROUWER M., BOUMA J., 1997. La variabilité du sol et de la croissance des cultures au Sahel : points saillants de la recherche (1990-1995) au Centre Sahélien de l'Icrisat. Bull. d'information 49, Icrisat, Inde, p. 21-26.

DE ROUW A., 1998. Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien. Agriculture et développement 18 : 63-70.

DOMMERGUES Y., GANRY F., 1991. Valorisation de la fixation de l'azote atmosphérique à la ferme. In Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 332-346.

FERNANDEZ-RIVERA S., WILLIAMS T.O., HIERNAUX P., POWELL J.M., 1995. Faecal excretion by ruminants and manure availability for crop production in semi-arid West Africa. In Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa, J.M. POWELL, S. FERNANDEZ-RIVERA, T.O. WILLIAMS, C. RENARD (Eds), Volume II: Technical Papers. Proceedings International Conférence, 22-26 November 1993, Ilca, Addis Ababa, Ethiopie, p. 149-170.

GANRY F., BIDEAU J., 1974. Action de la fertilisation et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle d'un mil Souina III. L'Agron. Trop. 24 : 1 006-1 015.

GANRY F., SARR P.-L., 1983. Valorisation du recyclage organique dans un objectif d'économie des engrais et de maintien de la fertilité des sols au Sénégal. Collection Etudes Techniques du Cnra, Bambey, Sénégal, doc. 100/83, 20 p.

GARRY F., 1991. Valorisation des résidus de récolte à la ferme et maintien de la fertilité. Cas du Sud Sénégal. In *Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 317-331.

GARRY F., CISSE L., 1994. L'amendement organique des sols sableux : une assurance contre les préjudices de la sécheresse. In *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*, F.-N. REYNIERS, C. NETOYO (éditeurs), Aupelf-Uref, J. Libbey, Paris, p. 253-263.

GARRY F., OLIVER R., 1997. Perspectives d'utilisation des bio-fertilisants de la société SOBAC en agriculture tropicale. Cirad-ca, Montpellier, France, 6 p.

GUEYE F., GARRY F., TRUONG B., 1986. Elaboration d'un compost enrichi en phosphore par le phosphate naturel. Etude agronomique. In *Actes séminaire Crdi-Fis*. Orstom, Paris, France, p. 145-153.

HAMON R., 1972. L'habitat des animaux et la production d'un fumier d'une qualité en zone tropicale sèche. *L'Agron. Trop.* 27 : 592-607.

HIERNAUX P., FERNANDEZ-RIVERA S., DE SCHLECHTE E., TURNER M.D., WILLIAMS T.O., 1997. Livestock-mediated nutrient transfers in Sahelian agro-ecosystems. In *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems*, G. RENARD, A. NEEF, K. BECKER, M. VON OPPEN (Eds), Margraf Verlag, Weikersheim, Allemagne, p. 339-347.

JANSEN B.H., 1993. Integrated nutrient management: the use of organic and mineral fertilizers. In *The role plant nutrients for sustainable food crop production in Sub-Saharan Africa*, VAN REULER H., PRINS W.H. (Eds), Dutch Association of Fertilizer Producers (VKP), Ponsen & Looijen, Wageningen, Pays-Bas, p. 89-107.

LANDAIS E., LHOSTE P., GUERIN H., 1991. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. In *Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, p. 219-270.

LHOSTE P., 1986. L'association agriculture-élevage. Evolution du système agropastoral au Siné-Saloum (Sénégal). Maisons-Alfort, Cirad-emvt, Montpellier, France, collection Etudes et Synthèses 21, 314 p.

LHOSTE P., 1987. Elevage et relations agriculture-élevage en zone cotonnière. Situation et perspectives. Cirad-emvt, Montpellier, France.

LINERES M., DJAKOVITCH J.L., 1993. Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. In *Matières organiques et agricultures, 4<sup>e</sup> journées de l'analyse de terre (Gemas), 5<sup>e</sup> forum de la fertilisation raisonnée (Comifer)*, 16-18 novembre 1993, Blois, France, p. 159-168.

LY C., DIAW A., FAYE A., 1997. Etables fumières et production laitière au Sénégal. *Cahiers agricultures* 1997, 6 : 651-659.

MBAYE D. F., 1994. Etude du pathosystème *Pennisetum - Glaucom - Sclerospora*. Thèse de

doctorat, Ensam, Montpellier, France, 114 p. + annexes.

PICHOT J., 1985. Les résidus culturaux peuvent-ils assurer le maintien du statut organique des sols tropicaux ? In *Actes de l'Atelier Gemos*. Cirad, Montpellier, France, 15 p.

PICHOT J., 1996. Chercher autre chose autrement. Réflexion sur le plan stratégique de l'Ura. Production végétale de l'Isra. Doc. Cirad-sar 82/96, Montpellier, France, 23 p.

PIERI C., 1992. Fertility of Soils. A future for farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne, 348 p.

RICHARD L., DJOULET D., 1985. La fertilité des sols et son évolution. Zone cotonnière du Tchad. Coton et Fibres Tropicales, série Documents, Etudes et Synthèses 6, 21 p.

SANOZO Z. J. L., 1997. Maîtrise de l'azote dans un système cotonnier-sorgho : Prévion de la fumure organique et azotée en zone Mali-Sud. Thèse de doctorat, Ensa, Montpellier, France, 72 p.

SEDOGO C., HIEN V., LOMPO F., ASIMI S., BADO B., 1992. Gestion de la matière organique. Note présentée au Comité Technique National de Recherche Agricole, Inera, Ouagadougou, Burkina Faso, 33 p.

Spore, 1989. Agriculture et environnements : deux frères ennemis à réconcilier. Bulletin bimestriel du Centre technique de coopération agricole et rurale 23 (1-4).

## Résumé... Abstract... Resumen

F. GARRY, A. BADIANE — **La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives.**

En Afrique soudano-sahélienne, pour obtenir une production agricole stable, il est recommandé d'apporter des fertilisants combinant engrais minéraux et matières organiques peu fermentescibles et riches en précurseurs des substances humiques, autrement dit du fumier. Cette revue bibliographique s'appuie sur des travaux conduits au Sénégal, au Burkina Faso, au Mali, au Tchad et au Niger. On distingue trois types de fumier : les poudrettes de porc (zone sahélienne), les terres et les fumiers de parcs (zone soudanienne); les fumiers traditionnels produits à la ferme non compostés; les fumiers améliorés produits à la ferme. Valoriser le fumier implique trois étapes : augmenter sa valeur agronomique, le produire de manière optimale et l'utiliser de manière rationnelle pour l'agriculture. Les effets attendus, en plus d'une productivité accrue, sont une réduction des risques de sécheresse et un accroissement de la valeur nutritionnelle des céréales, dans un contexte écologique et social où sécheresse et malnutrition menacent la région. La contrainte majeure à la production de fumier est la ressource fourragère; cependant, un espoir est permis dans les zones cotonnières, avec l'apparition de la stabulation saisonnière au Mali ou des parcs d'hivernage au Burkina Faso. La caractérisation du fumier porte sur sa valeur d'amendement organique, si possible sur son état sanitaire et sur sa valeur fertilisante : N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, pourcentage de terre, composition minérale par rapport à la matière sèche totale.

**Mots-clés :** fumier, terre de parc, analyse chimique, valeur agronomique, azote, phosphore, potassium, matière sèche, ressource fourragère, Afrique soudano-sahélienne.

F. GARRY, A. BADIANE — **Agricultural use of manure and compost in the Sudan-Sahel region of Africa. Diagnosis and prospects.**

In the Sudan-Sahel region of Africa, in order to ensure sustainable agricultural production, it is recommended that growers apply fertilizers combining mineral fertilizers and slightly fermentable organic matter rich in humus precursors, in other words manure. This bibliographical review is based on work in Senegal, Burkina Faso, Mali, Chad and Niger. A distinction is made between three types of manure: stock pen poudrette (Sahel zone), stock pen soil and manure (Sudan zone); traditional, non-composted manures produced on the farm; improved manures produced on the farm. Manure use involves three stages: increasing its agronomic value, ensuring optimum production and rational use for agriculture. In addition to increased productivity, the expected effects are a reduction in the risk of drought and an increase in the nutritional value of cereals, in an ecological and social context in which the region is threatened by drought and malnutrition. The main constraint on manure production is forage availability; however, there is some hope in cotton producing regions, with the advent of seasonal stalling in Mali or wintering pens in Burkina Faso. Manure characterization is based on its value as an organic ameliorator, and if possible on its sanitary status and fertilizer value: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, soil content and mineral composition in relation to total dry matter.

**Keywords:** manure, pen soil, chemical analysis, agronomic value, nitrogen, phosphorus, potassium, dry matter, forage supply, Sudan-Sahel region of Africa.

F. GARRY, A. BADIANE — **La valorización de los estiércoles y de los abonos compuestos en Africa Sudano-saheliana. Diagnóstico y perspectivas.**

En Africa Sudano-saheliana, para lograr una producción estable, se recomienda aportar fertilizantes que combinen abonos minerales y materias orgánicas poco fermentescibles y ricas de precursores de las sustancias con humus, dicha de otra manera el estiércol. Este examen bibliográfico se apoya en trabajos llevados a cabo en Senegal, en Burkina Faso, en Mali, en Chad y en Niger. Se distinguen tres tipos de estiércol: abonos de cloaca pulverizados de parque (zona saheliano), las tierras y los estiércoles de parques (zona sudanesa); los estiércoles tradicionales producidos en la finca no compostados; los estiércoles mejorados producidos en la finca. Valorizar el estiércol implica tres etapas: aumentar su valor agronómico, producirlo de manera óptima y utilizarlo racionalmente para la agricultura. Los efectos esperados, además de una productividad incrementada, son una reducción de los riesgos de sequía y un incremento del valor nutricional de los cereales, en un contexto ecológico y social en el que la sequía y la malnutrición amenazan la región. La limitación mayor a la producción de estiércol es el recurso forrajero; no obstante, está permitido tener muchas esperanzas en las zonas algodoneras, con aparición de la estabulación temporal en Mali o en parques de hibernación en Burkina Faso. La caracterización del estiércol lleva su valor de abono orgánico, dentro de lo posible en su estado sanitario y en su valor fertilizante: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, porcentaje de tierra, composición mineral en comparación con la materia seca total.

**Palabras-claves :** estiércol, tierra de parque, análisis químico, valor agronómico, nitrógeno, fósforo, potasio, materia seca, recurso forrajero, África sudano-saheliana.



# Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique

## Incidences pédologiques et agro-économiques

Le sud de la Martinique a été occupé pendant plus de deux siècles par la culture de canne à sucre. La mise en place d'un périmètre irrigué, entre 1979 et 1988, a favorisé le maraîchage et les prairies irriguées. Les pratiques maraîchères intensives ont entraîné un développement économique considérable. Elles ont aussi été accompagnées d'une dégradation physique du sol par érosion et compaction, aggravées par l'augmentation de la puissance des outils. Les phénomènes d'érosion sont les plus inquiétants car ils risquent de provoquer la disparition du potentiel de production de cette zone (ALBRECHT *et al.*, 1992). D'autres solutions doivent donc être proposées : dans ce but, un projet pluridisciplinaire a été élaboré pour évaluer différentes techniques de préparation des cultures maraîchères.

C. HARTMANN<sup>1</sup>, E. BLANCHART<sup>1</sup>, A. ALBRECHT<sup>2</sup>, A. BONNETON<sup>3</sup>,  
F. PARFAIT<sup>4</sup>, M. MAHIEU<sup>4</sup>, C. GAULLIER<sup>1</sup>, J.-F. NDANDOU<sup>5</sup>

1. Orstom, Laboratoire de biologie et organisation des sols tropicaux (Bost),  
BP 8006, 97259 Fort-de-France Cedex, France

2. Icrof, United Nations Avenue, Gigiri, PO Box 30677, Nairobi, Kenya

3. Université des Antilles et de la Guyane, département d'agronomie tropicale,  
97159 Pointe-à-Pitre Cedex, France

4. Conseil général de la Martinique, Station d'essais en cultures irriguées (Seci),  
97227 Sainte-Anne, France

5. Orstom, Laboratoire du compartement des sols cultivés (LCSC), BP 5045,  
34032 Montpellier Cedex, France

**Remerciements** — Les auteurs tiennent à remercier C. FELLER et Y.-M. CABIDOCHÉ pour leurs suggestions quant à la rédaction de cet article.

Ces dernières décennies, le principal objectif de l'agriculture était d'atteindre les niveaux de production les plus élevés possibles. Les techniques mises en œuvre — fertilisation, mécanisation, irrigation, traitements phytosanitaires — ont permis d'obtenir des productions records dans de nombreuses filières. Cet accroissement s'est souvent fait au détriment du sol et parfois de l'environnement (PIMENTEL *et al.*, 1995). Depuis peu, la volonté de protéger le milieu et de garantir une

agriculture durable a pris le pas sur la recherche des rendements maximaux (MILLER et WALI, 1995 ; BUOL, 1995). Des pratiques culturales originales doivent être proposées, rentables et plus respectueuses de l'environnement (AZAR *et al.*, 1996). Les transformations intervenues dans l'agriculture sur les vertisols du sud de la Martinique illustrent cette situation. C'est dans ce cadre qu'un projet pluridisciplinaire en culture maraîchère — pédologie, agronomie, économie, machinisme agricole — a été élaboré en collaboration entre plusieurs organismes implantés aux Antilles françaises. Il a consisté à comparer, en station expérimentale, l'évolution du sol, des rendements et des coûts de production pour deux techniques de préparation en culture maraîchère :

- un travail de retournement profond (40 cm) avec une charrue à soc et plusieurs reprises ;
- un travail de fragmentation superficiel (10 cm) à l'aide d'une rotobèche, sans reprise.

La parcelle mise en culture est une prairie artificielle irriguée, fertilisée, pâturée et non travaillée depuis 16 années, jugée dans un état physique optimal. L'évolution pédologique est suivie par 3 paramètres :

- la teneur en matière organique dont la décroissance peut être un indicateur du risque d'érosion pour ces sols (ALBRECHT *et al.*, 1992) ;
- l'augmentation des teneurs en eau avant mise en culture (fin de saison humide) qui peut révéler la présence de semelles lissées par les travaux antérieurs, ces semelles limitant le drainage et augmentant le risque d'hydromorphie (CABIDOCHÉ et NEY, 1987) ;
- les vers de terre qui réagissent très vite aux perturbations du milieu, notamment aux techniques de préparation du sol. Ils sont parfois utilisés comme un indicateur de la qualité des sols (PANKHURST *et al.*, 1995).

La plante test choisie est le melon du fait de son importance économique aux Antilles (KOUSSOULA-BONNETON, 1993).

Cet article fait le bilan après 2 années de mesure sur les sols et 3 années de mesure du rendement. Les mesures économiques en station expérimentale

sont complétées par une enquête menée chez un agriculteur utilisant à la fois des préparations profondes et superficielles.

## La conduite de l'expérimentation

Les parcelles sont installées sur le domaine expérimental de la station d'essais en cultures irriguées du Conseil général de la Martinique (14° 25 N, 60° 53 W, altitude 20 m, figure 1). La pluviométrie annuelle est de 1 580 millimètres (moyenne 1981-1995) et l'évapotranspiration potentielle de 1 380 millimètres avec un déficit saisonnier d'environ 500 millimètres réparti de janvier à juin.

## Traitements expérimentaux

La prairie a été plantée en *Digitaria decumbens* (Pangola) en 1979. Depuis cette date, elle a toujours été fertilisée, irriguée et pâturée par des ovins.

En janvier 1995, deux blocs expérimentaux de 300 mètres carrés

(30 x 10 m) séparés par une bande de circulation de 2,5 mètres sont préparés selon deux modes : le labour conventionnel et le travail simplifié.

Le labour conventionnel (LC) consiste en un retournement par un labour à 40 centimètres de profondeur avec une charrue à un soc (16 pouces, soit 40 cm) tirée par un tracteur de 100 CV (75 kW). Pour obtenir un lit de semence correct, le labour est suivi de trois opérations de reprise : cultivateur à 25-30 centimètres de profondeur (tracteur 100 CV), rotobèche (largeur 1,2 m) à 20 centimètres de profondeur (tracteur 20 CV, 15 kW) et rotavator à 10-15 centimètres de profondeur (tracteur 20 CV).

Le travail simplifié (TS) consiste en une fragmentation sans retournement avec une rotobèche (largeur 2,5 m) réglée à 10 centimètres, entraînée par un tracteur de 100 CV. Aucune opération de reprise n'est pratiquée.

Pour que les plants de melon (*Cucumis melo* L., cv. Alpha F1, Thézier) puissent être mis en place à la même date sur les deux parcelles, les préparations

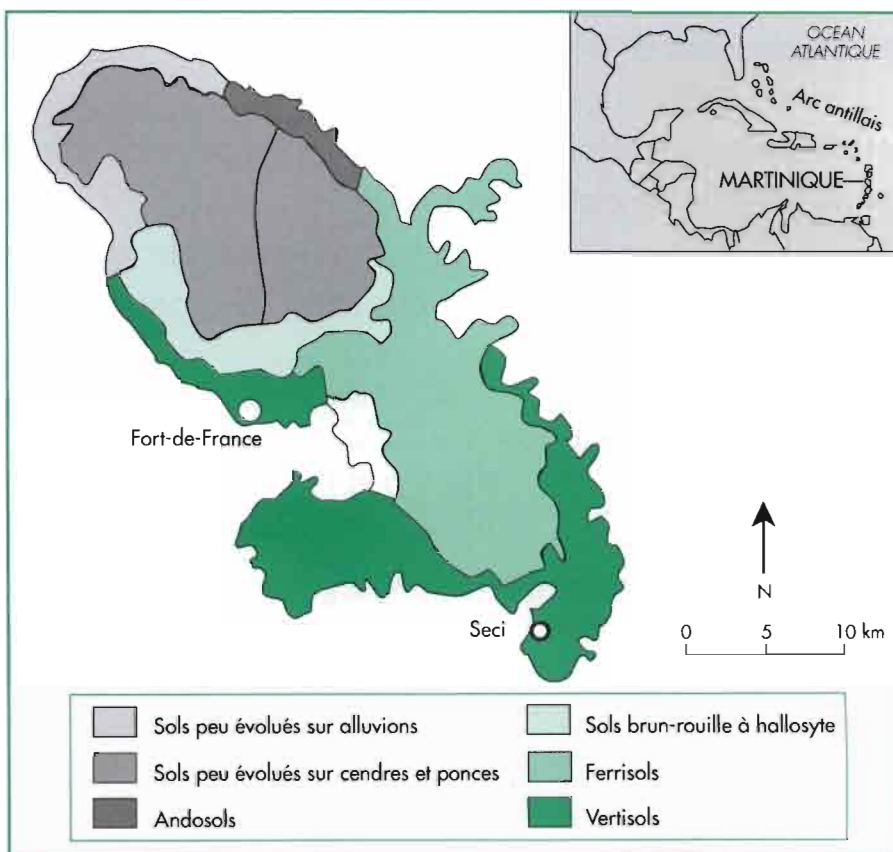


Figure 1. Carte des sols et localisation de la Martinique.



## Le cadre du projet

### Les participants et les partenaires

- Orstom : Institut français de recherche scientifique en coopération pour le développement
- Seci : station d'essais en cultures irriguées, conseil général de la Martinique
- Uag : université des Antilles et de la Guyane, département d'agronomie
- Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
- Cemagref : Centre national du machinisme agricole, du génie rural des eaux et forêts
- Inra-Crag : Institut national de la recherche agronomique, Centre de recherches Antilles-Guyane
- Socopma : société coopérative maraîchère de la Martinique
- M. PRADO (consultant) et les maraîchers du sud de la Martinique qui ont participé aux diverses enquêtes.

Ce projet a été soutenu par un financement de la Commission de coordination de la recherche dans les départements et les territoires d'outre mer (Cordet).

### Les vertisols de la Martinique

Aux Antilles, les vertisols sont représentés depuis Trinidad jusqu'à Cuba et se trouvent dans une gamme variée de climats, de positions topographiques et de substrats géologiques (AHMAD, 1996). A la Martinique, ils sont développés sur des matériaux volcaniques et localisés dans les zones basses, à faible relief et à saison sèche marquée. Ils sont classés Eutric Vertisol (Fao classification, 1988) ou Leptic Hapludert (Usda classification, 7<sup>th</sup> approximation). Ils se distinguent par leur forte teneur en argile (60 à 70 %), un pH proche de la neutralité mais légèrement acide (6 à 6,5) et leur caractère calco-magnésio-sodique —  $\text{Ca}^{2+}$ , 18 cmol/kg, soit 50 à 60 % de la capacité d'échange cationique,  $\text{Mg}^{2+}$ , 13 cmol/kg soit 30 à 35 %,  $\text{Na}^+$  passe de 1,6 cmol/kg en surface à plus 5,3 au-delà de 40 cm de profondeur, soit une évolution de 5 à 15 % de la CEC,  $\text{K}^+$  passe de 1,5 cmol/kg en surface à moins de 0,4 au-delà de 40 cm de profondeur, soit une évolution de 5 à 1 % de la CEC.

Leur structure est grossière dès la surface (prismes pluri-décimétriques à métriques séparés par de larges fentes) et ils ne sont que faiblement *self mulching*. Les teneurs en eau sont souvent élevées en relation avec la forte teneur en argile. La plus grande partie de cette eau est contenue dans la porosité matricielle et elle est peu disponible pour la végétation (CABIDOCHÉ et VOLTZ, 1995) ; seule l'eau de la porosité structurale permet de satisfaire pleinement les besoins de la plante cultivée (OZIER LAFONTAINE et CABIDOCHÉ, 1995). Cette structure

massive et continue ainsi que la forte teneur en argile induisent un ressuyage lent. Lorsqu'il est humide, le sol est adhérent et le labour exige une puissante force motrice. Le risque de lissage en fond de labour devient alors important et les conséquences peuvent être multiples : stagnation d'eau dans la couche travaillée (CABIDOCHÉ et NEY, 1987) et asphyxie des racines attestée par le développement de taches d'hydromorphie, augmentation du risque de ruissellement en cas de fortes pluies (YULE et WILLCOCKS, 1996).

La présence de magnésium et de sodium provoque une forte sensibilité des argiles à la dispersion. Même un ruissellement peu intense sur une pente faible peut induire une érosion en nappe. Comparés aux sols sous prairie, les parcelles maraîchères présentent un risque important d'érosion en relation avec la baisse de teneur en matière organique et l'absence de couverture végétale pendant une partie importante de l'année (ALBRECHT *et al.*, 1992).

Pour prévenir cette érosion, les pratiques agricoles doivent permettre de maintenir le stock organique des horizons de surface. Malheureusement, les apports sont rapidement minéralisés et donc peu efficaces (BROSSARD *et al.*, 1985). Le moyen le plus efficace pour maintenir ou reconstituer le stock organique des parcelles dégradées par le maraîchage est la mise en place de prairies artificielles (irriguées, fertilisées et pâturées). Dans ces conditions, l'accroissement peut atteindre 9 tonnes de carbone organique par hectare en 3 ans dans l'horizon 0-30 centimètres, soit 19 % du stock initial (CHEVALLIER *et al.*, soumis).

### Le maraîchage sur vertisol

Dans le sud de la Martinique, 70 % des exploitations se consacrent à la polyculture et à l'élevage, seules 30 % sont spécialisées dans le maraîchage. Pour préparer les sols, les agriculteurs ont adopté des préparations profondes inspirées des techniques utilisées dans le passé pour la canne à sucre et actuellement pour la banane. Leur objectif est d'améliorer le drainage vertical et l'enracinement des plantes afin d'utiliser au mieux l'eau et les éléments minéraux, et obtenir les rendements les plus élevés. Les préparations se font après la saison cyclonique, en général à partir du mois d'octobre, donc avant la fin de la saison des pluies. Selon une enquête (ESPAGNOL, 1993), le labour profond (plus de 40 cm) est pratiqué par 83 % des agriculteurs et le sous-solage par 65 %. La moitié des agriculteurs réalisent plusieurs cycles de cultures par an avec préparations profondes et travaux de reprises. Dans 44 % des exploitations, les

parcelles subissent 10 à 18 passages d'outils par an. Comme 61 % des agriculteurs ne sont pas autonomes pour la mécanisation, le matériel est emprunté ou loué lorsqu'il est disponible et les préparations sont effectuées quels que soit l'humidité et l'état du sol.

Les agriculteurs ne sont pas sensibles aux risques de ces pratiques intensives. Il n'existe pas de tradition maraîchère sur ces vertisols et le niveau de formation agricole est faible — 35 % des agriculteurs ont reçu une formation concernant le maraîchage. Les surfaces maraîchères sont souvent louées (le fermage se pratique dans 61 % des exploitations), ce qui ne facilite pas la prise de conscience des problèmes liés à la conservation des sols — seuls 22 % des agriculteurs ont observé les phénomènes d'érosion.

### La situation agricole à la Martinique

Les structures agricoles de Martinique sont héritées de l'économie de plantation et restent tournées vers l'exportation. Les débouchés des produits d'exportation sont assurés, à un prix généralement rémunérateur, vers la France et l'Union européenne.

Malgré tous les efforts de diversification déployés par l'administration et par les professionnels, les grandes exploitations d'exportation restent dominantes (banane, canne à sucre). La surface agricole utilisée a diminué de près d'un tiers en 20 ans et 41 % de la surface agricole est toujours en herbe.

Seuls quelques îlots d'agriculture moderne se sont développés. C'est le cas des cultures maraîchères pour lesquelles les bénéfices peuvent être importants et rapides, ce qui a stimulé les initiatives individuelles — la production agricole finale moyenne atteint 120 000 FF/ha/an. Les productions végétales étant créatrices d'emplois, environ 1 homme par hectare, les pouvoirs publics, préoccupés par ce problème (27 % de la population active au chômage), ont largement soutenu ces initiatives.

L'élevage reste délaissé par les agriculteurs car la valorisation finale est nettement moindre — en moyenne 6 500 FF/ha/an — et par les autorités locales car l'impact sur l'emploi est faible — une personne suffit pour plusieurs dizaines d'hectares. Le taux de couverture en produits laitiers reste inférieur à 2,5 % de la consommation, il est d'environ 17,5 % en viande ovine et de 33 % en viande bovine. L'amélioration des pratiques permet pourtant d'augmenter la production, la rendant plus attractive — jusqu'à 28 000 FF/ha/an en élevage intensif sur pâturage irrigué.



de labour conventionnel ont débuté 15 jours avant celles de travail simplifié. Chaque bloc expérimental comprend 6 lignes de 50 plants.

La conduite de la culture est identique pour les deux blocs. Un paillage plastique évite les opérations de sarclage, l'irrigation est réalisée au goutte à goutte (1,5 l/h/plant), les fertilisants sont apportés avec l'eau d'irrigation, les produits phytosanitaires sont épandus à la main.

La première culture de melon a été installée en février 1995 et récoltée en avril. Après récolte, les parcelles sont restées en jachère jusqu'à l'année suivante (février 1996) ; elles ont alors subi un deuxième travail du sol (identique au premier) et une deuxième culture de melon. Après un itinéraire technique toujours identique, une troisième culture est installée en février 1997 sur les mêmes parcelles.

## Mesures sur le sol

Des échantillons ont été prélevés à la tarière tous les 10 centimètres et séchés à l'étuve afin d'établir les profils d'humidité aux mois de décembre 1995 et 1996, à la fin de la période de jachère et avant les deuxième et troisième séquences de travail du sol. La teneur en carbone a été mesurée à l'aide d'un microanalyseur CNS (Carlo-Erba Instruments) sur des échantillons de sol prélevés à deux profondeurs (0-10, 10-20 cm) dans chacune des parcelles (3 répétitions). Les vers de terre sont triés manuellement à partir de blocs de sol de 30 x 30 x 30 centimètres, prélevés dans chacune de ces parcelles (3 à 5 répétitions).

## Mesures sur la plante

Les bordures ne sont pas prises en compte dans la mesure du rendement. Les récoltes se font sur 200 plants centrés dans le bloc et regroupés en 40 lots de 5 plants. Chaque melon est pesé individuellement. Les masses de melons, commercialisables ou non (éclatés, attaqués par les rongeurs, etc.), sont estimées pour les deux traitements et les deux cycles de culture.

## Mesures micro-économiques

En station expérimentale, les opérations culturales (irrigation, fertilisation, etc.) étant identiques sur toutes les parcelles, seul le temps consacré au travail du sol est pris en compte ici pour comparer les deux traitements. Ces données économiques ne peuvent pas être extrapolées au milieu agricole car les temps de travail sont très largement surestimés — nombreuses manœuvres du fait de la faible taille des parcelles et du respect du protocole. Des données recueillies auprès d'un agriculteur venant d'acquiescer une rotobèche complètent ces mesures.

## L'influence de la technique de préparation sur l'évolution du sol

### Teneur en carbone et risque d'érosion

Les deux techniques de préparation provoquent une diminution rapide et continue de la teneur en carbone organique (figure 2). Cette baisse est plus importante pour le labour conventionnel que pour le travail simplifié. Cette différence peut s'expliquer, d'une part, par une dilution de la matière organique des horizons superficiels dans l'ensemble des horizons travaillés et, d'autre part, par une minéralisation ou une érosion accrues avec le traitement labour conventionnel (NDANDOU *et al.*, b à paraître).

La baisse des teneurs en carbone a pour conséquence une diminution de la stabilité structurale dès la mise en culture. Il faut noter que la relation n'est pas linéaire — au-dessus d'environ 20 gC/kg de sol, la stabilité est relativement élevée et le risque d'érosion reste faible, en dessous de 15 gC/kg de sol, la sensibilité à l'érosion augmente fortement (figure 3). Après seulement deux cycles de culture, en labour conventionnel, la teneur en carbone à 0-10 centimètres de profondeur est déjà proche de la

première valeur (21,7) alors que celle relative au travail simplifié est nettement supérieure (26,6). C'est lors du premier travail du sol que les pertes sont les plus importantes (NDANDOU *et al.*, a à paraître). Par conséquent il semble probable qu'après un troisième cycle de culture, la parcelle en labour conventionnel aura une teneur inférieure à 20 g/kg de sol alors qu'elle restera supérieure en travail simplifié (figure 4). Le travail superficiel limite donc les pertes en carbone et augmente la durée de moindre sensibilité du sol vis-à-vis de l'érosion.

### Profils hydriques

Pour le travail simplifié, les profils hydriques établis en fin de saison des pluies en décembre 1995 et 1996 sont similaires — pas de différence significative (figure 5). Pour le labour conventionnel, la teneur en eau a augmenté d'une année à l'autre sur l'ensemble de la couche travaillée (0-40 cm) ; l'augmentation la plus forte concerne l'horizon 20-30 centimètres situé au-dessus du fond de labour (+ 18 %). Pour les deux années de mesure, les teneurs en eau des parcelles en labour conventionnel sont systématiquement plus élevées que celles des parcelles en travail simplifié — différence significative entre 0 et 40 cm la deuxième année.

Après deux cycles de culture, les deux situations se distinguent aussi par l'aspect du profil hydrique. Les horizons superficiels sont moins humides que les horizons profonds en travail simplifié, alors qu'en labour conventionnel, la teneur en eau maximale est localisée dans les horizons proches de la surface (10-40 cm). Aux fortes teneurs en eau (plus de 50 %), le sol est plastique et très adhérent aux outils : les labours y sont difficiles et peu efficaces.

Les quantités d'eau reçues sont identiques. Les seules différences concernent le travail du sol et le développement d'une couverture végétale durant la période de jachère. Cette dernière semble mieux développée en travail simplifié et pourrait être à l'origine d'un ressuyage plus rapide grâce à une évapotranspiration plus importante.



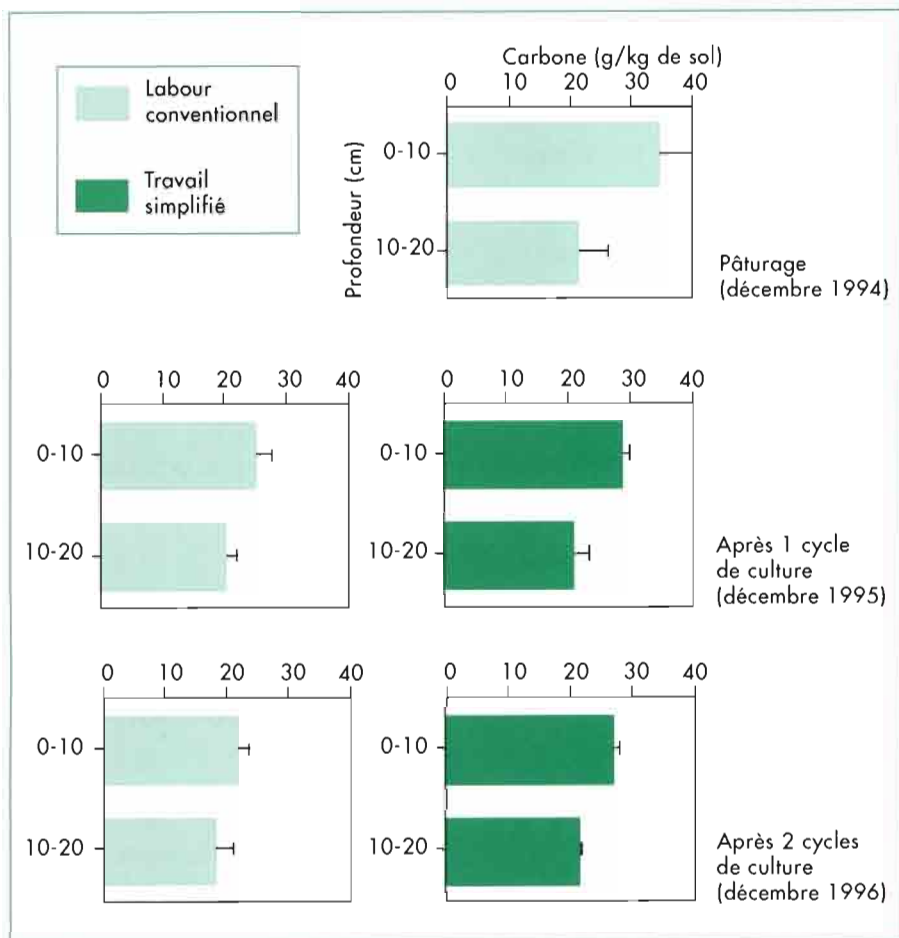


Figure 2. Evolution des teneurs en carbone (mg/g de sol) des horizons 0-10 et 10-20 cm après mise en culture d'un vertisol sous prairie avec préparation profonde et superficielle, après un et deux cycles de culture de melon (moyennes et écarts-types).

L'observation de profils pédologiques a montré que l'augmentation de teneur en eau en labour conventionnel est associée à l'apparition de taches d'hydromorphie à partir de 10 centimètres de profondeur ; sur les profils de travail simplifié, ces taches ne sont jamais observées. Ce phénomène pourrait s'expliquer par la disparition de la porosité structurale qui assure le drainage rapide et l'aération au profit de la porosité matricielle sous l'effet des contraintes mécaniques (McGARRY et CHAN, 1984) ou par l'apparition d'une discontinuité en fond de labour provoquant l'engorgement des horizons supérieurs (CABIDOCHÉ et NEY, 1987).

L'augmentation des teneurs en eau avant les travaux du sol peut être considérée comme une dégradation sur le plan agronomique : c'est une contrainte pour les labours (attente d'un ressuyage en profondeur ou augmentation de la puissance de traction) ; si l'hydromorphie persiste, elle peut être défavorable à l'enracinement et à l'alimentation hydrique de la plante.

Cette dégradation, même si elle est due à la synergie de plusieurs facteurs, semble être amplifiée par la répétition des préparations profondes.

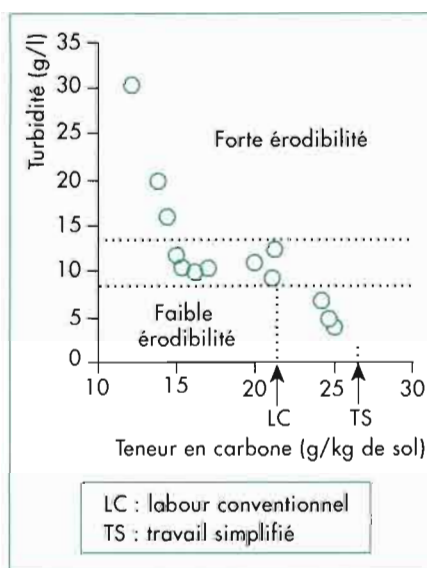


Figure 3. Relation entre teneur en carbone de l'horizon 0-10 cm des vertisols de la Martinique et la turbidité de l'eau de ruissellement recueillie sous simulation de pluie (intensité de la pluie : 150 mm/h, sol travaillé et non couvert par la végétation), d'après ALBRECHT *et al.*, 1992.

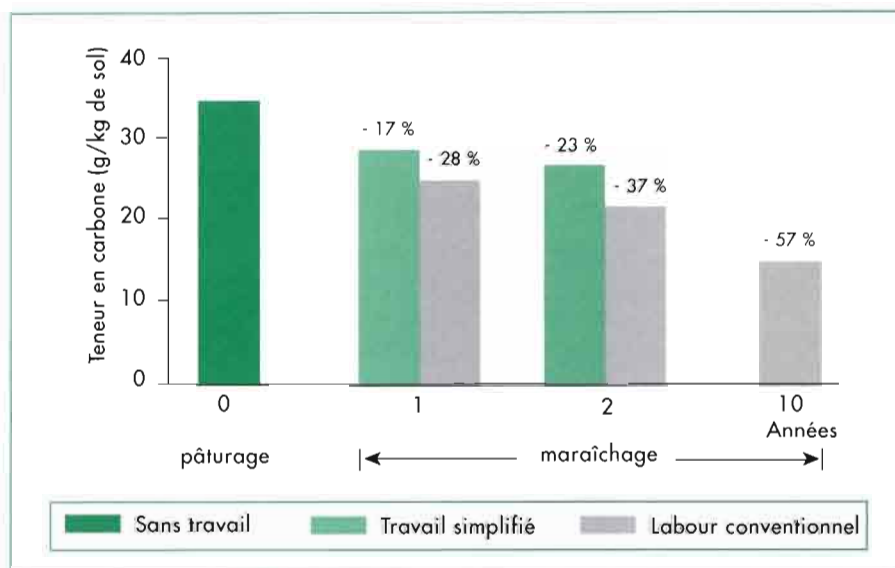


Figure 4. Evolution des teneurs en carbone (0-10 cm) après mise en culture d'un vertisol sous prairie selon deux modes de préparation du sol (labour conventionnel à 40 cm et préparation simplifiée avec une rotobèche à 10 cm), après un et deux cycles de culture de melon. Comparaison avec une prairie âgée (à gauche) et une culture maraîchère conventionnelle (profonde) de 10 ans (à droite) de la station d'essais en cultures irriguées. Les pourcentages indiquent la différence par rapport à la teneur en carbone du pâturage (indice 100).

## Activité biologique

Les prairies artificielles de longue durée, lorsqu'elles sont irriguées, fertilisées et pâturées, sont caractérisées par des peuplements importants de vers de terre — jusqu'à 200 individus/m<sup>2</sup>, soit 90 % de la densité totale de macrofaune (ROSSI, 1992) — et une biomasse élevée — jusqu'à 100 g/m<sup>2</sup>. L'espèce dominante est *Polypheretima elongata*. A l'opposé, les cultures maraîchères de longue durée abritent des peuplements très pauvres en cette espèce — moins de 10 individus/m<sup>2</sup>, soit 4,5 % de la macrofaune totale, moins de 5 g/m<sup>2</sup>.

La mise en culture maraîchère d'une prairie entraîne à plus ou moins long terme une forte diminution des populations de *P. elongata*. Les résultats de cette étude montrent qu'après deux

cycles de culture (mai 1996), les vers de terre ont été beaucoup plus affectés (significativement au seuil de 5 %) par le labour conventionnel que par le travail simplifié — les biomasses moyennes sont respectivement de 5,3 et 82,5 g/m<sup>2</sup> et les densités moyennes de 23 et 73 individus/m<sup>2</sup> (figure 6).

Cette différence peut s'expliquer par l'action mécanique du labour (FRIEND et CHAN, 1995) mais vraisemblablement aussi par l'action indirecte du travail profond sur la structure du sol (modification du régime hydrique et climatique du sol) et sur la ressource organique. Ainsi, le travail superficiel préserve l'activité de la faune et les conséquences de cette activité sur les propriétés du sol (infiltration de l'eau). Après un travail profond, la discontinuité hydraulique, mise en évidence par les profils

hydriques en fin de saison humide, a peu de chance d'être résorbée par des mécanismes biologiques.

Des dégradations physiques et biologiques existent avec les deux modes de préparation du sol. Pour les préparations superficielles, elles sont moins importantes la première année et les effets cumulatifs lors d'un second cycle de culture sont limités. Pour les préparations profondes, l'effet cumulatif est beaucoup plus élevé ainsi que le montrent les profils hydriques et la plus faible densité de la population de *P. elongata*.

## L'influence du mode de préparation du sol sur la production de melon

Comparé au labour conventionnel (tableau 1), le rendement total des melons en travail simplifié était plus élevé en 1995 (non significatif), plus faible en 1996 (significatif) et en 1997 (non significatif). Le rendement en melons commercialisables pour le travail simplifié était plus élevé en 1995 (non significatif), plus faible en 1996 (significatif au seuil de 1%) et à nouveau plus élevé en 1997 (non significatif). La variabilité interannuelle du rendement est importante. Même si le plan d'expérimentation agronomique n'a pas de randomisation, ce résultat permet de constater que la profondeur de préparation du sol, comparée à d'autres facteurs, a une influence secondaire sur les variations de rendement.

## L'influence de la technique de préparation sur les coûts

En station expérimentale et en exploitation, le coût horaire de la main-d'œuvre a été fixé à 39 FF qui est le salaire minimum légal. Les charges variables de mécanisation sont calculées à partir du temps d'utilisation et

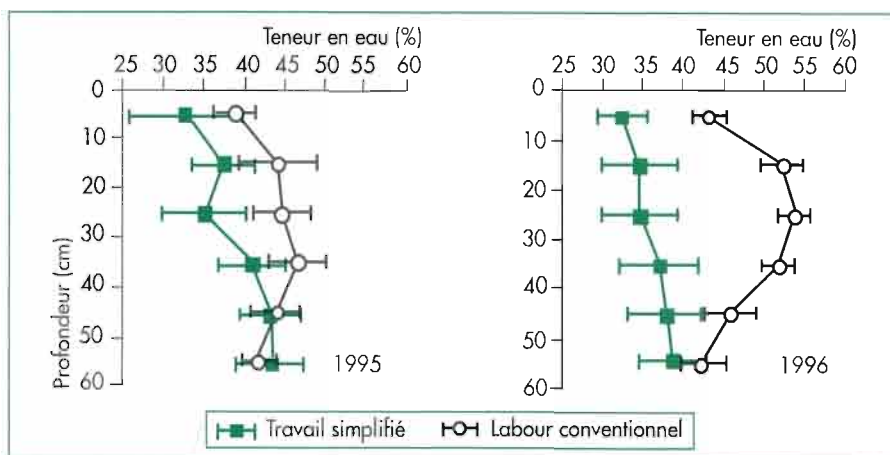


Figure 5. Profils hydriques massiques (g d'eau par g de sol sec) au mois de décembre 1995 et 1996, après un et deux cycles de culture pour les préparations profonde et superficielle (moyenne et intervalle de confiance à  $P < 0,05$ ).

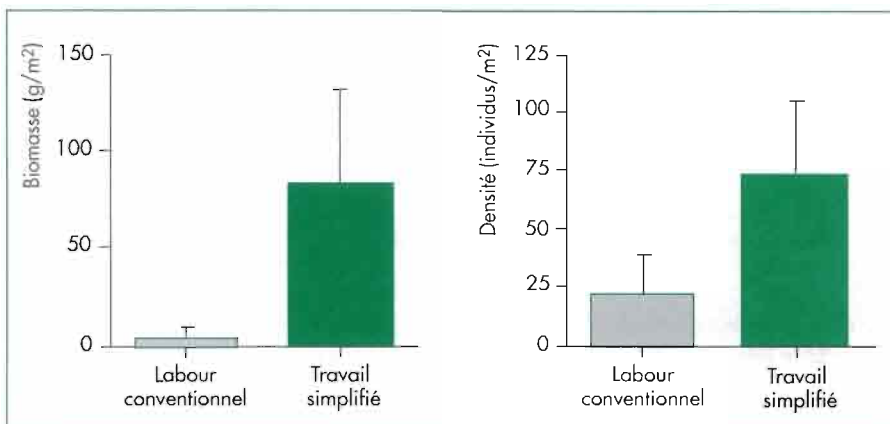


Figure 6. Biomasse et densité moyenne de vers de terre après deux cycles de culture (mai 1996) réalisés avec préparation profonde (labour conventionnel) ou superficielle (travail simplifié).



de la consommation horaire en carburant des engins (prix du gasoil détaxé : 1,77 FF/l). En station expérimentale, le tracteur de 100 CV consomme 22 l/h (38,94 FF/h) et le tracteur de 20 CV consomme au plus 6 l/h — 10,62 FF/h. Le total des charges variables en station est présenté dans le tableau 2. L'agriculteur ne dispose que d'un seul tracteur de 100 CV avec lequel il réalise toutes les opérations. Ses charges variables de mécanisation (carburant) sont estimées à 38,94 FF/h et le total des charges variables est donc de 77,94 FF/h quelle que soit l'opération réalisée.

En station expérimentale et en exploitation agricole, les charges variables de mécanisation sont plus élevées pour le labour conventionnel que pour le travail simplifié à cause des opérations de reprise (tableaux 2 et 3). Le rapport entre charges variables des préparations profonde et superficielle est de 2,9 en station expérimentale et seulement de 1,3 chez l'agriculteur. Après le passage de la machine à bêcher, l'agriculteur a choisi de faire une reprise (la rotobutte est un cultivateur rotatif à axe horizontal associé à une butteuse) et ce choix double son temps de travail et ses charges. Sans ce travail de reprise, les charges n'auraient été que de 475 FF, soit un rapport de 2,5. Cette opération de reprise a certainement été effectuée car elle correspond au schéma classique de travail du sol, mais elle ne semble pas justifiée : un réglage adapté de la rotobèche permettrait d'obtenir un état physique satisfaisant en seul passage.

Un investissement important en matériel de traction est nécessaire pour les préparations profondes, quels que soient la taille et le niveau de production de l'exploitation. La faible

résistance du sol en conditions humides entraîne un patinage important. Il faut un tracteur à 4 roues motrices d'une masse de 4 tonnes pour un labour à 40 centimètres avec un soc de 16 pouces. Dans notre enquête, l'agriculteur a acheté une machine à bêcher de grande largeur (2,5 m) adaptée au tracteur de 100 CV

qu'il possédait. Dans cette région, la plupart des exploitations maraîchères ont une taille de quelques hectares, il serait donc suffisant d'être équipé d'une machine à bêcher plus petite (1,2 m) entraînée par un tracteur de 40-50 CV. Les investissements, avec un travail simplifié, pourraient être réduits de 40 % (tableau 4).

Tableau 1. Rendement total et commercialisable (sans les rebuts) en melons sur la station expérimentale, en tonnes par hectare.

	Production totale (t/ha)		Production commercialisable (t/ha)	
	LC	TS	LC	TS
1995	20,9	23,4 (nsd)	16,6	21,4 (nsd)
1996	36,9	30,2 (**)	32,0	25,3 (**)
1997	28,4	27,9 (nsd)	23,4	24,7 (nsd)
Moyenne	28,7	27,2	24,0	23,8

nsd : non significativement différent ; \*\* : significatif au seuil de 99 %.

LC : traitement en labour conventionnel ; TS : traitement en travail simplifié.

Tableau 2. Temps de travail et charges variables de mécanisation ramenés à l'hectare pour les parcelles expérimentales (300 m²).

	Labour conventionnel	Travail simplifié
Temps de travail (h/ha)	61,4	21,3
Main-d'œuvre (FF/ha)	2 400	833
Carburant (FF/ha)	1 333	467
Total charges variables (FF/ha)	3 733	1 300

Tableau 3. Temps de travail (h/ha) en fonction des outils dans une exploitation agricole qui pratique labour conventionnel et préparation superficielle avec un tracteur de 100 CV. Calcul des charges variables de mécanisation pour un hectare.

Labour conventionnel		Travail simplifié	
Charrue tri-socs	7,5	Machine à bêcher 2,5 m	5,5
Pulvérisateur à disques	2,0	Rotobutte	6,0
Rotobutte	6,0		
Total (h/ha)	15,5	Total (h/ha)	11,5
Total charges variables (FF/ha)	1 208,5	Total charges variables (FF/ha)	896,5

Tableau 4. Investissements en matériel, en milliers FF, pour un labour conventionnel, des préparations superficielles avec du gros matériel (travail simplifié lourd) ou non (travail simplifié léger).

Labour conventionnel		Travail simplifié lourd		Travail simplifié léger	
outil	prix	outil	prix	outil	prix
Charrue trisoc	40	rotobèche 2,5 m	90	rotobèche 1,2 m	70
Pulvérisateur disques	50	rotobutte	40	rotobutte	40
Tracteur 100 CV	250	tracteur 100 CV	250	tracteur 45 CV	160
Investissement total	380	investissement total	380	investissement total	230

## Intérêt et limites des techniques expérimentées

Les travaux superficiels réalisés avec des itinéraires simplifiés permettent de mieux préserver les caractéristiques du sol (carbone, activité vers de terre, structure). Sur le plan économique, les rendements sont à peine inférieurs, mais la consommation énergétique est nettement plus faible. Sur le plan technique, la simplification des travaux réduit la période entre le début et la fin de la préparation et offre une plus grande flexibilité du calendrier des opérations. Cette flexibilité est déterminante pour réaliser les plantations dans une zone où la variabilité inter-annuelle des pluies est forte et pour commercialiser la production à la période où les prix sont les plus élevés.

Malgré les avantages des préparations superficielles, la diminution des teneurs en matière organique des horizons de surface reste rapide et le risque d'érosion persiste après trois années. L'utilisation de rotations maraîchage/prairies artificielles intensifiées pourrait être une solution acceptable dans une région où l'élevage est

surtout associé au maraîchage. Mais la mise en place d'une prairie artificielle avec des espèces bouturées reste une opération longue et coûteuse, même si les préparations superficielles, moins dégradantes, autorisent une installation plus rapide du couvert végétal, en comparaison des parcelles maraîchères actuelles. Des essais se poursuivent pour des cultures en bande (préparations superficielles) sur une prairie de *Digitaria decumbens* irriguée, fertilisée et pâturée. Cela limiterait les contraintes mécaniques et préserverait au maximum le statut organique et biologique du sol. La couverture végétale permanente assurerait alors une protection contre l'érosion et, après chaque cycle de culture, la colonisation des bandes cultivées par *Digitaria decumbens* pourrait être rapide.

## Conclusion

Quel que soit le mode de préparation du sol, la mise en culture des vertisols provoque une baisse rapide des stocks organiques. Pour préserver le capital sol et maintenir une activité agricole à long terme, les rotations entre le maraîchage utilisant des préparations superficielles et des pâturages intensifiés peuvent être envisagées. Ces pâturages

maintiennent une production agricole tout en reconstituant le stock organique. L'utilisation du sol serait intensive tout en restant durable. A la Martinique, ces rotations pourraient être facilement adoptées, surtout dans les exploitations de taille moyenne.

Cet exemple démontre qu'une agriculture durable peut aussi être une agriculture à haut niveau de production. Il s'agit de remplacer les techniques habituelles de réhabilitation du sol et du milieu (intrants chimiques, nouvelles opérations techniques) par une réhabilitation effectuée directement par une plante cultivée. La recherche de la production maximale à court terme d'une seule filière est remplacée par des objectifs de production à long terme associant différentes spéculations.

Récemment, des préparations superficielles, avec préservation du stock organique et de l'activité biologique, ont été mises en place avec succès sur des sols tropicaux à kaolinite bien structurés (SEGUY *et al.*, 1996). Cet essai montre que de tels résultats peuvent également être obtenus sur des sols gonflants à smectite dont le comportement physique et le fonctionnement hydrique semblent pourtant moins adaptés à ces techniques.

## Bibliographie

AHMAD N., 1996. Occurrence and distribution of Vertisols. In Vertisols and technologies for their management, AHMAD N., MERMUT A. (Eds), Developments in Soil Science Series 24, Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, p. 1-41.

ALBRECHT A., RANGON L., BARRET P., 1992. Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). Cahiers Orstom, série Pédologie 27 : 121-133.

AZAR C., HOLMBERG J., LINDGREN K., 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. Ecological Economics, 18: 89-112.

BROSSARD M., BALESDENT J., FELLER C., PLENECASSAGNE A., TURENNE J.-F., 1985. Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. I. Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. In Small Farm Systems in the Caribbeans, Proceedings 20<sup>th</sup> Caribbean Food Crop Society Meeting, Sainte-Croix, Etats-Unis, Virgin Island, p. 68-73.

BUOL S. W., 1995. Sustainability of soil use. Annual Review of Ecological Systems 26: 25-44.

CABIDOCHÉ Y.-M., NEY B., 1987. Fonctionnement hydrique de sols à argile gonflante cultivés. II.-Analyse expérimentale des fonctionnements hydriques associés à deux états structuraux en vertisol irrigué. Agronomie 7 : 257-270.

CABIDOCHÉ Y.-M., VOLTZ M., 1995. Non-uniform volume and water content changes in swelling clay soil: II. A field study on a Vertisol. European Journal of Soil Science 46: 345-355.

CHEVALLIER T., BLANCHART E., CHOTTE J.-L., ESCHENBRENNER V., VOLTZ M., MAHIEU M., ALBRECHT A. (à paraître). Spatial and temporal changes of soil C after installation of a pasture on a long-term cultivated Vertisol (Martinique). Geoderma, soumis pour publication.

ESPAGNOL G., 1993. Itinéraires techniques des producteurs maraîchers sur vertisols du périmètre irrigué du Sud-est de la Martinique. Rapport d'enquête, Conseil général de la Martinique, France, station d'essais en cultures irriguées (Seci), 31p.

FRIEND J.J., CHAN K.Y., 1995. Influence of cropping on the population of a native earthworm and consequent effects on hydraulic properties of Vertisols. Australian Journal of Soil Research 33: 995-1006.

KOUSSOULA-BONNETON A., 1993. Le melon en Guadeloupe : de la culture minière à la

culture itinérante ? Cahiers d'Agriculture 2 : 415-421.

MCGARRY, D., CHAN, K.Y., 1984. Preliminary investigation of clay soils' behaviour under furrow irrigated cotton. Australian Journal of Soil Research 22 : 99-108.

MILLER F.P., WALI M.K., 1995. Soils, land use and sustainable agriculture: A review. Canadian Journal of Soil Science 75: 413-422.

NDANDOU J.-F., ALBRECHT A., BLANCHART E., HARTMANN C., KULESA V., FELLER C., a (à paraître). Variations du stock organique d'un vertisol sous prairie par mise en culture maraîchère : effet du mode de travail du sol. 1 - Teneurs et stocks en carbone total. European Journal of Soil Science, soumis pour publication.

NDANDOU J.-F., FELLER C., ALBRECHT A., HARTMANN C., BLANCHART E., b (à paraître). Variations du stock organique d'un vertisol sous prairie par mise en culture maraîchère : effet du mode de travail du sol. 2 - Teneurs et stocks en carbone des fractions granulométriques. European Journal of Soil Science, soumis pour publication.

OZIER-LAFONTAINE H., CABIDOCHÉ Y.-M., 1995. THERESA: II. Thickness variations of vertisols for indicating water status in soil and plants. Agricultural Water Management 28: 149-161.



PANKHURST C.E., HAWKE B.G., McDONALD H.J., KIRBY C.A., BUCKERFIELD J.C., MICHELSEN P., OBRIEN K.A., GUPTA V.V.S.R., DOUBE B.M., 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agronomy* 35: 1 015-1 028.

PIMENTEL D., HARVEY C., RESOSUDARMO P., SINCLAIR K., KURZ D., McNAIR M., CRIST S., SHPRITZ L., FITTON L., SAFFOURI R., BLAIR R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1 117-1 123.

ROSSI J.-P., 1992. Répartition spatiale de la macrofaune du sol et de quelques caractéristiques pédologiques selon le mode d'exploitation d'un vertisol (Ste Anne, Martinique). Mémoire de DEA, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 28 p.

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N.A., 1996. III. Le semis direct, un mode de gestion agrobiologique des sols. *Agriculture et développement* 12 : 38-58.

YULE D.F., WILLCOCKS T.J., 1996. Tillage and cultural practices. In *Vertisols and technologies for their management*, AHMAD N., MERMUT A. (Eds), *Developments in Soil Science Series* 24. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, p. 261-302.

## Résumé... Abstract... Resumen

C. HARTMANN, E. BLANCHART, A. ALBRECHT  
A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULLIER,  
J.-F. NDANDOU — **Nouvelles techniques de  
préparation des vertisols en culture maraîchère  
à la Martinique. Incidences pédologiques  
et agro-économiques.**

Les pratiques maraîchères intensives développées sur les vertisols de la Martinique sont remises en cause car la production se fait au détriment du sol : par rapport aux prairies intensifiées qui permettent la conservation et même la réhabilitation du milieu, les labours des parcelles maraîchères diminuent les teneurs en carbone et augmentent leur érodibilité. Notre objectif est de proposer des pratiques qui préservent les sols et la production tout en restant rentables. Par rapport aux labours, notre étude montre en premier lieu que des préparations plus superficielles limitent la diminution des stocks organiques, facilitent le drainage et préservent mieux l'activité biologique ; en deuxième lieu, ces préparations ne provoquent pas de diminution significative des rendements, troisièmement, elles réduisent le temps de travail, les charges de mécanisation de 26 à 65 % et l'investissement en matériel jusqu'à 40 %. Les préparations superficielles sont plus rentables et préservent mieux le sol mais les risques de perte en terre persistent. La mise en place de rotations maraîchage/pâturage permettrait le maintien d'une production élevée et une gestion réellement durable du milieu.

Mots-clés : travail du sol, érosion, état physique du sol, coût de production, vertisol, agriculture durable, culture maraîchère, Martinique.

C. HARTMANN, E. BLANCHART, A. ALBRECHT  
A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULLIER,  
J.-F. NDANDOU — **New ways of preparing  
vertisols for market garden crops in Martinique.  
Pedological and agro-economic effects.**

The wisdom of intensive market garden crop cultivation on vertisols in Martinique is now being questioned as it leads to soil deterioration: in relation to intensified prairies, which conserve and even rehabilitate the soil, ploughing market garden crop plots reduces carbon contents and increases susceptibility to erosion. We set out to propose practices that would preserve both the soil and yields whilst remaining profitable. Compared to ploughing our study showed that more superficial land preparation i) limited the reduction in organic stocks, facilitated drainage and better preserved biological activity, ii) did not lead to any significant drop in yields, and iii) reduced work times and cut mechanization rates by 26 to 65% and investments in equipment by up to 40%. Superficial preparation proved to be more profitable and to protect the soil more effectively, but there were still risks of soil loss. Introducing market garden crop/pasture rotation would maintain high yields and enable truly sustainable environmental management.

Key words: ploughing, erosion, soil physical condition, production costs, vertisol, sustainable agriculture, market garden crops, Martinique.

C. HARTMANN, E. BLANCHART, A. ALBRECHT  
A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULLIER,  
J.-F. NDANDOU — **Nuevas técnicas de preparación  
de los vertisoles en cultivo de plantas  
comestibles en Martinica. Incidencias pedológicas  
y agro-económicas.**

Por lo tanto, se vuelven a poner en tela de juicio las prácticas de cultivos de plantas comestibles intensivas desarrolladas sobre los vertisoles de Martinica dado que la producción se hace en detrimento del suelo: en comparación con los prados intensificados que permiten la conservación e inclusive la rehabilitación del medio, las labranzas de las parcelas de plantas comestibles reducen los contenidos de carbono e incrementan su capacidad de erosión. Nuestro objetivo es proponer prácticas que preserven los suelos y la producción a la par de quedarse rentable. En comparación con las labranzas, nuestro estudio muestra que preparaciones más superficiales: i) limitan la disminución de las existencias orgánicas, facilitan el drenaje y preservan mejor la actividad biológica ii) no provocan disminución significativa de los rendimientos, iii) reducen el tiempo de trabajo, las cargas de mecanización de un 26 a un 65 % y la inversión en material hasta un 40 %. Las preparaciones superficiales son más rentables y preservan mejor el suelo, pero los riesgos de pérdida de tierra persisten. La instalación de rotaciones plantas comestibles/pasto permitiría mantener una alta producción y un manejo verdaderamente duradero del medio.

Palabras-claves: trabajo del suelo, erosión, estado físico del suelo, costo de producción, vertisol, agricultura duradera, cultivo de plantas comestibles, Martinica.

Pâturage dégradé de 15 ans, en pleine  
saison humide, *Bracharia decumbens*,  
Etat du Minas Gerais, Brésil.  
M. Brossard



Paysage de pâturages extensifs  
à *Bracharia humidicola* et *B. brizantha*,  
saison des pluies, Etat du Mato Grosso  
du Sud, Brésil.  
M. Brossard



Les surfaces renouvelées avec *B. brizantha*,  
saison des pluies.  
M. Brossard

*Stylosanthes guianensis* (minerão),  
Etat du Minas Gerais, Brésil.  
M. Brossard



Semis simultané riz-*Paspalum atretum*,  
Etat du Minas Gerais, Brésil.  
M. Ayarza





# Intégration culture-élevage dans les Cerrados au Brésil : une solution pour des systèmes durables

Les systèmes de production agricole des Cerrados brésiliens présentent depuis quelques années des problèmes économiques et agronomiques dont les conséquences sur le milieu sont mal évaluées. Il est nécessaire de proposer de nouveaux systèmes de production. L'intégration de l'élevage avec les cultures de grain dans les mêmes unités de production permettrait le maintien, et dans certains cas l'augmentation, de la production par unité de surface.

En une génération, la région du centre-ouest brésilien est devenue une frontière d'expansion agricole la plus importante du Brésil (WANIEZ, 1992 ; RESENDE *et al.*, 1996). Cependant, des problèmes agronomiques nouveaux voient le jour, tant dans les systèmes de cultures à cycle court, que dans les systèmes d'élevage. La compaction des sols et l'apparition de ruissellement deviennent courants sous culture (AYARZA *et al.*, 1997a). Il est estimé qu'au moins la moitié des pâturages plantés

présentent de sévères pertes de vigueur et d'envahissement par des adventices (MACEDO, 1995).

Afin de réduire l'impact négatif des systèmes de gestion actuels, de nouvelles propositions voient le jour. La préparation traditionnelle des sols est remplacée par des systèmes de semis direct, la monoculture de soja par des rotations avec d'autres spéculations (SEGUY *et al.*, 1996). En élevage, l'utilisation de nouvelles graminées depuis 1985 vise à limiter les attaques de *cigarinha* (*salivazo* en espagnol, *Deois*

*flavopicta*). Par ailleurs, s'est développée l'utilisation de cultures pour renouveler ou récupérer des pâturages de faible productivité (OLIVEIRA *et al.*, 1996) : l'intérêt pour les légumineuses a rapidement décru car les essais ont montré une faible pérennité des espèces (RIPPSTEIN *et al.*, 1996). Nous verrons que leur potentiel est important et que tout dépend de la stratégie choisie à moyen terme.

Depuis cinq ans un certain nombre d'essais chez les producteurs ont été développés dans le cadre d'une collaboration Ciat-Embrapa. Leurs objectifs étaient de tester la faisabilité de systèmes d'élevage bovin plus intensifs et de montrer la possibilité d'une intégration des activités de production de plantes à cycles courts avec le renouvellement des pâturages. Ils se proposaient également de montrer la

## Le contexte institutionnel

Pendant quatre ans, le Ciat et le centre Embrapa-Cerrados ont travaillé pour développer des systèmes agro-pastoraux améliorés pour le Cerrado. Les objectifs du projet étaient de développer des systèmes agro-pastoraux avec des légumineuses à usage multiple, d'évaluer la productivité de ces prototypes chez les producteurs, de quantifier leur impact sur la production et les sols, et de caractériser leur potentiel d'utilisation en fonction de la dynamique du moment des systèmes en place.

M.A. AYARZA<sup>1</sup>, L. VILELA<sup>2</sup>, A. DE O. BARCELLOS<sup>2</sup>, L.C. BALBINO<sup>3</sup>,  
M. BROSSARD<sup>4</sup>, A. PASINI<sup>5</sup>

1. Ciat, Procitropicos, CP 02995, 71609-970 Brasília-DF, Brésil  
Mél : [liaciproc@tbo.com.br](mailto:liaciproc@tbo.com.br)

2. Embrapa Cerrados, CP 08223, 73301-970 Planaltina-DF, Brésil

3. Embrapa Araz e Feijão, CP 179, 74001-970 Goiânia-GO, Brésil

4. Projet sols et pâturages, Orstom-Embrapa Cerrados, CP 7091, 71619-970 Brasília-DF, Brésil  
Mél auteur pour correspondance : [brossard@cpac.embrapa.br](mailto:brossard@cpac.embrapa.br)

5. Univ. Estadual de Londrina, Depto. Agronomia, CP 8001, 86051-970 Londrina-PR, Brésil

pertinence de la mise en place de rotations de pâtures à cycles courts à moyen terme. Ces essais ont été conduits chez les producteurs, avec leur participation.

## Premier exemple : productivité de systèmes agro-pastoraux

Dans le cadre d'exploitations tournées vers l'élevage, systèmes à faibles intrants, ou vers la production de grains, systèmes à forts intrants, l'idée initiale était de développer un système reposant sur l'utilisation de légumineuses, avec un fort potentiel d'adaptation, comme une fourragère composante de la rotation et servant en même temps de couverture végétale permanente du sol (AYARZA *et al.*, 1997b). Les recherches conduites dans d'autres régions tropicales montrent que la légumineuse est un élément essentiel du maintien de la production (BODDEY *et al.*, 1996 ; McCOWN *et al.*, 1993 ; THOMAS *et al.*, 1995). Les résultats obtenus avec *Stylosanthes guianensis* cv. Minerão et *Arachis pintoï* BRA-031143 sont rapportés ici. Ces deux légumineuses sont adaptées aux conditions pédologiques et climatiques de la région et ont un potentiel de productivité élevé (PIZARRO et RINCON, 1994 ; Embrapa/Cpac, 1993).

Dans un premier temps, nous avons effectué un diagnostic des sols de la région (tableau 1, analyses d'échantillons moyens d'horizons de surface de sols dans quatre exploitations). Quel que soit le système, pâtures à faibles intrants (fi) ou cultures à forts intrants (FI), les taux d'agrégats stables à l'eau supérieurs à 2 millimètres sont inférieurs sous culture, les teneurs en matière organique diminuent dans les sols argileux, les intrants (calcium, engrais minéraux) permettent de neutraliser l'aluminium échangeable et contribuent à réalimenter le sol en phosphore. Les teneurs en matière organique, peu élevées naturellement dans les sols sableux, restent à des niveaux qui peuvent être considérés comme critiques (tableaux 2, 3).

Tableau 1. Quelques caractéristiques physiques et chimiques des couches 0-20 cm de sols des zones étudiées (moyenne de 20 prélèvements moyens par hectare).

Système	Argile %	Agrégats + 2 mm %	MO %	pH eau	P Mehlich µg/g	Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> cmol/kg	K <sup>+</sup> cmol/kg	Al <sup>3+</sup> cmol/kg
Pâturage fi	57 17	77 73	3,7 0,7	5,1 5,3	0,9 1,1	0,5 0,4	0,07 0,13	0,5 0,6
Cultures FI	57 13	50 46	3,4 0,7	6,2 6,3	34 26	4,9 2,4	0,12 0,25	0 0

fi : faibles intrants, FI : forts intrants.

Tableau 2. Teneurs en carbone, azote et rapport C/N des horizons 0-10 cm de latossols sous pâtures et cultures, comparaison avec le Cerrado. Quatre répétitions par système.

Sol	Système	C mg/g	N mg/g	C/N
Argileux	Cerrado	23,5 d	1,32 e	17,8 c
	cultures 8 ans (FI)	23,0 d	1,38 e	16,7 b
	pâturage <i>B. decumbens</i> 10 ans (fi)	24,6 e	1,37 e	17,9 c
Sableux	Cerrado	9,8 b	0,62 c	16,0 a
	cultures 8 ans (FI)	7,1 a	0,42 a	16,9 b
	pâturage <i>B. decumbens</i> 10 ans (fi)	9,3 b	0,53 b	17,6 c

fi : faibles intrants, FI : forts intrants.

Les valeurs suivies dans une même colonne de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test Turkey ( $p < 0,05$ ).

Tableau 3. Effet des graminées fourragères sur la productivité (kg/ha) du riz et de matière sèche de *Stylosanthes guianensis* cv. Minerão et *Arachis pintoï* sur un sol sableux (moyenne de trois répétitions).

Espèces	Semis simultané			Semis à 30 jours		
	Graminée	riz	<i>Stylosanthes</i>	Graminée	riz	<i>Stylosanthes</i>
<i>P. atratum</i>	4 808	1 106 a	1 375 a	628	2 189 a	1 829 a
<i>B. brizantha</i>	7 299	1 208 a	558 b	714	2 556 a	957 a
<i>P. maximum</i>	7 458	194 b	274 c	1 417	2 156 a	1 389 a
	Graminée	riz	<i>Arachis</i>	Graminée	riz	<i>Arachis</i>
<i>P. atratum</i>	5 677	1 014 a	169 a	1 988	2 445 a	21 a
<i>B. brizantha</i>	6 187	1 023 a	137 a	1 612	2 570 a	43 a
<i>P. maximum</i>	7 166	314 b	74 a	2 733	2 203 a	60 a

Les valeurs suivies dans une même colonne de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test Turkey ( $p < 0,05$ ).

Semis de la graminée 30 jours après semis de la culture et de la légumineuse. *Paspalum atratum* BR-009610 ; *Brachiaria brizantha* cv. Marandu ; *Panicum maximum* cv. Vencedor.

## Présentation générale de la région

Les études ont été conduites chez des producteurs de la région d'Uberlândia (19° S, 48° O). Cette région ouest de l'Etat du Minas Gerais présente les classes agroécologiques du Cerrado les plus représentatives (JONES *et al.*, 1992) et a vu s'intensifier rapidement l'utilisation du sol ces dernières années (OLIVEIRA SCHNEIDER, 1996). Les sols sont classés comme *Latossolos vermelho amarelo* et *vermelho escuro* (système brésilien), *anionic acrustox* et *typic haplustox* (système américain). Ce sont des sols profonds, argileux ou sablo-argileux fortement altérés. Les précipitations annuelles sont voisines de 1 600 millimètres entre novembre et mars, cette saison pluvieuse peut être coupée par de petites saisons sèches de 10 à 20 jours. Entre juin et septembre, la période sèche est marquée par des humidités relatives pouvant être inférieures à 15 %.



Une analyse plus détaillée de quelques parcelles montre que, pour le sol argileux, le pâturage ancien à *Brachiaria decumbens* contribue à augmenter légèrement la teneur en carbone par comparaison aux cultures ou au cerrado (tableau 2). Cet effet de la graminée n'est pas significatif dans le sol sableux ; en revanche, huit ans de culture continue font encore baisser la teneur en carbone de l'horizon de surface. Pour l'azote, il n'est pas observé de différence significative dans le sol argileux. Cependant, la culture de la graminée ou de plantes à cycles courts provoque, à terme, une diminution de la teneur en azote, perte qui reste supérieure sous culture. Ces observations illustrent le caractère fragile de ces latossols sableux, où même une couverture pérenne de graminées, gérée traditionnellement, qui conserve la réserve de carbone, induit en une dizaine d'années l'épuisement de la réserve d'azote. Nous verrons par la suite que l'offre d'azote est un des facteurs limitants de ces sols.

L'effet des légumineuses a été évalué dans des soles de 4 hectares. Les essais ont été installés avec deux types de précédents, le premier après pâturages à faibles intrants (fi) et le second

après cultures annuelles avec forts intrants (FI). Sur chaque parcelle, sont comparées les successions (fi ou FI) - culture - nouveau pâturage et (fi ou FI) - culture - graminée + mélange de légumineuse (deux répétitions). Le travail du sol a été fait à la charrue à disques ; un seul semis a été effectué dans le cas du semis simultané.

La production de grains et la production animale ont été mesurées. La production de biomasse et la composition botanique des pâtures a été mesurée trois fois par an. Au niveau du sol, ont été suivis la stabilité des agrégats, la teneur de matière organique et l'offre en azote. Dans le cas de l'essai (fi) sur sol sableux, un témoin de pâturage de faible productivité est également suivi.

## Association légumineuse graminée et cultures annuelles sur le latossol sableux

L'effet compétitif des graminées a une incidence négative sur la mise en place des légumineuses et sur les cultures associées. Le *Panicum*

*maximum* cv. Vencedor et *Brachiaria brizantha* ont réduit significativement la production de riz et l'installation de *Stylosanthes guianensis* cv. Minerão, par comparaison avec *Paspalum atratum* dans un système de semis simultané (tableau 3).

Cependant, l'effet négatif des graminées a été réduit lorsqu'elles ont été semées 30 jours après le semis de la culture et des légumineuses. Comme l'offre minérale du sol est plus élevée dans le système à forts intrants (FI), la compétition avec la légumineuse augmente. Et la légumineuse *Stylosanthes guianensis* a pratiquement disparu après semis simultané avec *P. maximum* et maïs dans le système (FI) (tableau 4).

Les rendements du maïs dans ce système ont été peu affectés par les graminées (14 % en moins que la monoculture). Le semis des graminées à 30 jours a également réduit la compétition sur les légumineuses et la culture (tableau 5). La production de matière sèche d'*Arachis pintoi* a été peu élevée dans les deux systèmes, cependant elle a augmenté après la récolte du maïs.

En conclusion, *S. guianensis* est une légumineuse adaptée à des conditions

Tableau 4. Production de grains et fourrage dans un système maïs-fourrage à deux dates de semis de la graminée dans un sol sableux (moyenne de trois répétitions, kg/ha de matière sèche ou de grains).

Semis	Graminée ms kg/ha	<i>Stylosanthes</i> ms kg/ha	<i>Arachis</i> ms kg/ha	Maïs grains kg/ha
Monoculture maïs	-	-	-	6 364 a
Maïs + légumineuse*	-	1 814 a*	569 a	6 400 a
Maïs + légumineuse + <i>P. atratum</i> *	4 700	144 b	221 b	6 500 a
Maïs + légumineuse + <i>P. maximum</i> *	6 200	11 e	96 c	5 586 b
Maïs + légumineuse + <i>P. atratum</i> (30 j)	1 200	1 078 b	618 a	6 484 a
Maïs + légumineuse + <i>P. maximum</i> (30 j)	1 500	723 c	545 b	6 594 a

Les valeurs suivies dans une même colonne de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test Turkey ( $p < 0,05$ ).

\* : semis simultané.

30 j : semis des graminées 30 jours après semis du maïs et légumineuse.

Tableau 5. Gain cumulé de poids animal en trois ans selon le système et la texture du sol.

Système	Intrants	Sol	Essai	Production animale kg/ha/an	Augmentation %
Pâturage	fi	sableux	culture + graminée	160	-
Pâturage	fi	sableux	culture + graminée + légumineuse	254	58
Pâturage	fi	argileux	culture + graminée	230	-
Pâturage	fi	argileux	culture + graminée + légumineuse	354	54
Cultures	FI	sableux	culture + graminée	236	-
Cultures	FI	sableux	culture + graminée + légumineuse	267	10
Cultures	FI	argileux	graminée pure	503	-

de faibles réserves nutritives du sol, elle peut être établie aisément dans des systèmes riz-fourragères pour renouveler des pâturages de faible productivité. Par opposition, *A. pinto* requiert des conditions de fertilité chimique plus élevées, elle est plus tolérante à la compétition pour la lumière, ce qui en fait une espèce plus adaptée au système de rotation avec cultures à cycles courts et comme couverture du sol dans les systèmes de semis direct.

## La productivité des prototypes fourragers

Les mêmes situations ont été maintenues, après installation des plantes fourragères, pour évaluer leur pérennité comme pâturages. *Stylosanthes guianensis* s'est bien adapté dans les systèmes à faibles intrants (fi) quelle que soit la texture du sol. Au moment de la récolte de riz, nous avons compté 3 ou 4 plants de *S. guianensis* par mètre carré. D'autres légumineuses ont été également observées, mais leur population reste très minoritaire. Les rendements de riz ont été faibles du fait des petites saisons sèches et de la compétition des graminées fourragères.

Dans les systèmes à forts intrants (FI), toutes les légumineuses ont disparu suite à la compétition pour la lumière avec *Panicum maximum* et le maïs. La production du maïs et l'établissement de la graminée fourragère ont été excellents.

Après trois ans de pâturage contrôlé, le gain animal dans les systèmes (fi) avec légumineuses est de 50 % supérieur à celui des systèmes culture - graminée (tableau 5).

Cette différence a augmenté à 80 % suite à la fertilisation d'entretien (20 kg/ha  $P_2O_5$  + 40 kg/ha  $K_2O$ ). La meilleure productivité animale des essais avec légumineuse est associée à une capacité de charge animale plus élevée, à des gains individuels supérieurs et à une meilleure qualité de la diète. Les différences se sont accentuées au moment des saisons sèches du fait de la capacité de *S. guianensis* à maintenir une offre de fourrage vert.

La proportion de *S. guianensis* est restée constante le temps de l'étude (30 à 60 % de la biomasse totale selon la saison).

La plus grande productivité des pâturages associant la graminée au *S. guianensis* est reliée à l'apport d'azote dans le système par la légumineuse. CADISH *et al.*, (1993) ont déterminé dans ces essais que plus de 80 % de l'azote prélevé par diverses espèces de *Stylosanthes* proviennent de la fixation biologique de l'azote atmosphérique. Ceci a été confirmé par des contenus d'azote plus grands dans les tissus des graminées associées, par comparaison aux graminées pures.

Les gains de poids du bétail des systèmes cultures - graminées ont été similaires à ceux du témoin de la pâture initiale — témoin de faible productivité sur sol sableux. A partir de la cinquième année de pâture, il est observé une rapide diminution de la population de *Stylosanthes* (traitements fi). Les raisons n'ont pas été déterminées, mais les observations suggèrent que la plante arrive à une sénescence physiologique caractérisée par des tiges grosses qui la rendent sensible aux lésions physiques (piétinement).

La production animale dans le système (FI) sur le sol argileux a été deux fois supérieure à celle sur le sol sableux. La plus grande partie des écarts observés est due à la plus grande offre d'azote pour la graminée dans le sol argileux — les valeurs moyennes d'azote total de l'horizon de surface étant de 1,29 et 0,61 g/g de sol respectivement.

La faible offre d'azote du sol sableux a été confirmée par une réponse linéaire de *P. maximum* à des apports d'azote : de 25 à 100 kg/ha, matière sèche =  $(1,16 + 0,02 \times \text{dose N}, r^2 = 0,98)$ . Le facteur limitant de l'azote est mis en évidence par une apparition croissante de soja pérenne *N. wightii* dans la pâture et une plus grande productivité animale dans le système avec légumineuses (tableau 5). Les dernières observations montrent que 40 % de l'offre fourragère est formée par ce soja.

## Deuxième exemple : production animale de pâturages renouvelés sur un sol sableux

Dans cet exemple il a été étudié le développement animal sur pâturages de *Brachiaria brizantha* installé sur une ancienne couverture de *Brachiaria humidicola* de 20 ans (BARCELLOS *et al.*, 1997). Le renouvellement a été conduit avec une culture associée (*barreirão*) de riz (RA) ou maïs (RM), ou par renouvellement direct (RD), comparées à un traitement témoin non renouvelé (TT). Le système est un pâturage tournant, la pression de pâture étant de 7 % (7 kg de matière verte sèche pour 100 kg de poids vif par jour). Chaque module constitue une aire de 5 hectares, subdivisés en 5 sous-parcelles. Un cinquième groupe d'animaux a été suivi dans le cadre de la gestion traditionnelle du producteur (MF). Cet exemple est un premier bilan 18 mois après la mise en pâture des parcelles.

La production et la commercialisation de grains obtenus (RM et RA) ont amorti la première année respectivement 46 % et 80 % des coûts du renouvellement des surfaces concernées.

### Présentation du site du deuxième exemple

L'étude a été conduite chez un producteur du Mato Grosso do Sul, Município Brasilândia. Le site se trouve à l'extrême sud-ouest de la zone des Cerrados. Le sol est classé comme *Latosolos vermelho escuro álico* (système brésilien), à texture sableuse (80 % de sables, 14 % d'argile). Ce sont des sols acides (pH  $CaCl_2$  : 4,2), à faible capacité d'échange cationique (3,3 cmol/kg), épais, sans doute développés sur matériaux crétacés, fortement altérés à faible différenciation verticale. Leur teneur en matière organique est faible sous anciens pâturages (1,4 %). Les précipitations annuelles sont voisines de 1 600 millimètres entre novembre et mars, cette saison pluvieuse peut être coupée par de petites saisons sèches.



Au cours des pluies, la charge animale, fondée sur l'offre alimentaire, a nettement augmentée (tableau 6). Au cours de la période sèche, le taux de croissance du pâturage a été réduit à cause de la baisse de la disponibilité en eau et de la température. Il y a alors une moindre différence entre traitements. Toutefois, il n'y a pas de perte de poids des animaux, alors qu'elle est mesurée dans la gestion traditionnelle du troupeau (MF).

Cet exemple illustre également que, dans certains cas, il est possible de récupérer la capacité productive du pâturage initial (TT) par une bonne gestion du troupeau, même si le gain par unité de surface reste inférieur aux parcelles renouvelées.

### Troisième exemple : effets sur la production et quelques propriétés des sols de systèmes intégrés culture-élevage

Depuis l'introduction en 1983 des cultures, une exploitation de la région d'Uberlândia (Minas Gerais) exclusivement productrice de viande bovine, s'est transformée en intégrant les successions cultures-pâtures dans le temps et dans l'espace. En 1992, les pâturages originaux de *Brachiaria decumbens* cv. Basilik avaient déjà été remplacés par *Panicum maximum*. Ce dernier a été semé simultanément avec du maïs après un cycle de 3-4 ans de culture. La figure 1 résume l'évolution de l'occupation de l'espace de l'exploitation. A partir de 1992, la répartition des surfaces allouées aux rotations de 4 ans s'est stabilisée.

Comparé à un système traditionnel et à un système amélioré (tableau 7), les rotations culture-pâture permettent un revenu brut annuel de production bovine de 15,7 % supérieur à un système amélioré, mais sur une surface 5 fois plus petite. Bien évidemment, le système extensif est gagnant par un effet d'échelle, mais ce bilan ne tient pas compte des revenus des cultures

annuelles. Ces différences expliquent en partie le fait que les systèmes de rotations sont encore peu développés dans le centre-ouest brésilien, le producteur bovin ayant tendance à raisonner sur une gestion annuelle à grande échelle.

A partir du diagnostic des sols de cette exploitation, nous avons observé que le pH, la saturation en bases échangeables et le phosphore se maintiennent à des niveaux raisonnables pour la production végétale après quatre années de culture avant réintroduction du pâturage.

Tableau 6. Capacité de support et développement des bovins élevés de 9 à 24 mois, sur latossol sablo-argileux).

	Charge animale UA/ha		Poids initial kg	Poids final kg	Gain quotidien g/animal/j	Gain annuel de poids vif kg/ha/an
	pluies	sec				
RM	3,04	0,83	181	374	443 a	670
RA	2,79	0,83	176	371	434 a	593
RD	2,55	0,80	177	388	467 a	596
TT	1,51	0,77	176	374	445 a	356
MF	1,20	0,60	176	278	211 b	-

Les valeurs suivies dans une même colonne de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test Turkey ( $p < 0,05$ ).

RA : renouvellement avec culture associée de riz ; RM : renouvellement avec culture associée de maïs ; RD : renouvellement direct ; TT : traitement témoin non renouvelé ; MF : gestion traditionnelle du producteur.

Tableau 7. Efficacité économique de la production de jeunes bovins dans trois systèmes de production de région d'Uberlândia (d'après FISHER, 1995).

	Système traditionnel	Système amélioré	Rotation culture/pâturage
Surface renouvelée/an (%)	1	10	25
Age pâture (ans)	15-20	10	5
Surface par vache (ha)	1,85	1,3	0,96
Jeunes bovins/ha	0,28	0,57	0,66
Revenu brut (\$ US)	43	95	110
Surperficie (ha)	1 728	2 110	416
Revenu brut total (\$ US)	74 304	200 450	45 760

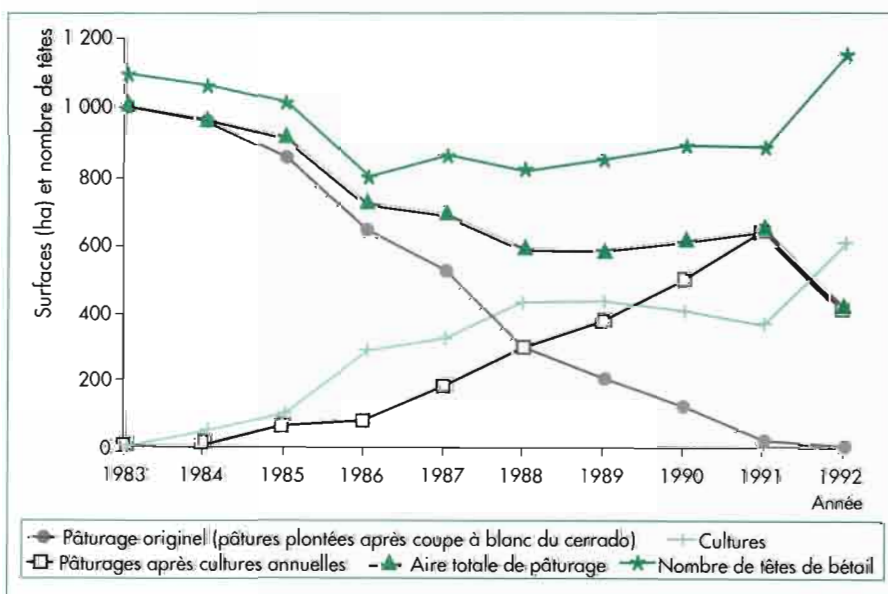


Figure 1. Evolution des aires de pâturage à la suite de l'introduction des rotations cultures-pâtures (latossol sableux).

Dans un des sites étudiés sur latosol argileux, ont été comparés le cerrado originel, une pâture de faible productivité de 10 ans à *Brachiaria decumbens*, les pâtures renouvelées à *B. brizantha* et à *B. brizantha* + *Stylosanthes*, une succession de cultures annuelles de 10 ans et une reprise de 2 ans de semis direct de 2 ans suite à 8 ans de cultures annuelles. La figure 2 résume les teneurs de carbone et le rapport C/N du sol dans les différentes parcelles.

Dix années de culture tendent à faire baisser les teneurs de carbone, mais, tout comme la reprise de ces parcelles en semis direct, ces valeurs ne sont pas significativement différentes des valeurs observées sous végétation initiale. Il en est de même sous *Brachiaria* dégradé; la graminée pure renouvelée reconstitue en partie la teneur de matière organique de l'horizon de surface, mais il faut une association avec la légumineuse pour observer des teneurs de carbone significativement plus élevées.

Dans l'attente de résultats plus approfondis, ces variations de teneurs en carbone pourraient être reliées aux modifications de l'activité de la faune. La macrofaune du sol est essentiellement constituée de populations de termites, fourmis et vers de terre (figure 3). La macrofaune d'invertébrés du sol peut constituer un paramètre intéressant à utiliser dans l'aide à la décision, puisque les producteurs savent percevoir de visu l'apparition de certains groupes faunistiques. Tous sites confondus, on note que la macrofaune se distribue essentiellement entre la surface et 20 centimètres de profondeur dans ces milieux, ceci est en accord avec une étude préalable effectuée sur des milieux naturels (DIAS *et al.*, 1997). Les populations les plus abondantes sont observées sous le pâturage récupéré pur de graminée, et l'on observe la colonisation de l'horizon superficiel par les vers de terre lorsque la graminée est associée à la légumineuse. Sous culture continue, l'activité macrofaunique a presque totalement disparu (non représenté ici); en revanche, les deux années de semis direct permettent un début de réinstallation des populations (PASSINI et BROSSARD, travaux en cours, comm. pers.). Enfin les graminées favo-

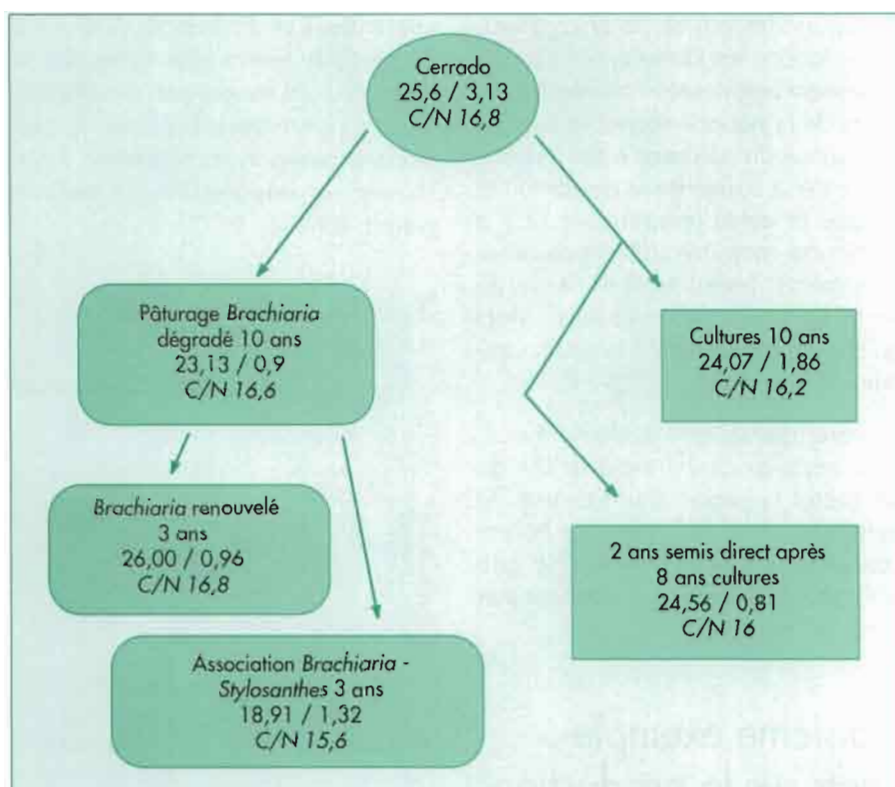


Figure 2. Teneurs moyennes en carbone (mg/g de sol), écart types et rapport C/N de l'horizon 0-10 cm d'un latosol argileux des différentes successions culturales après végétation native.

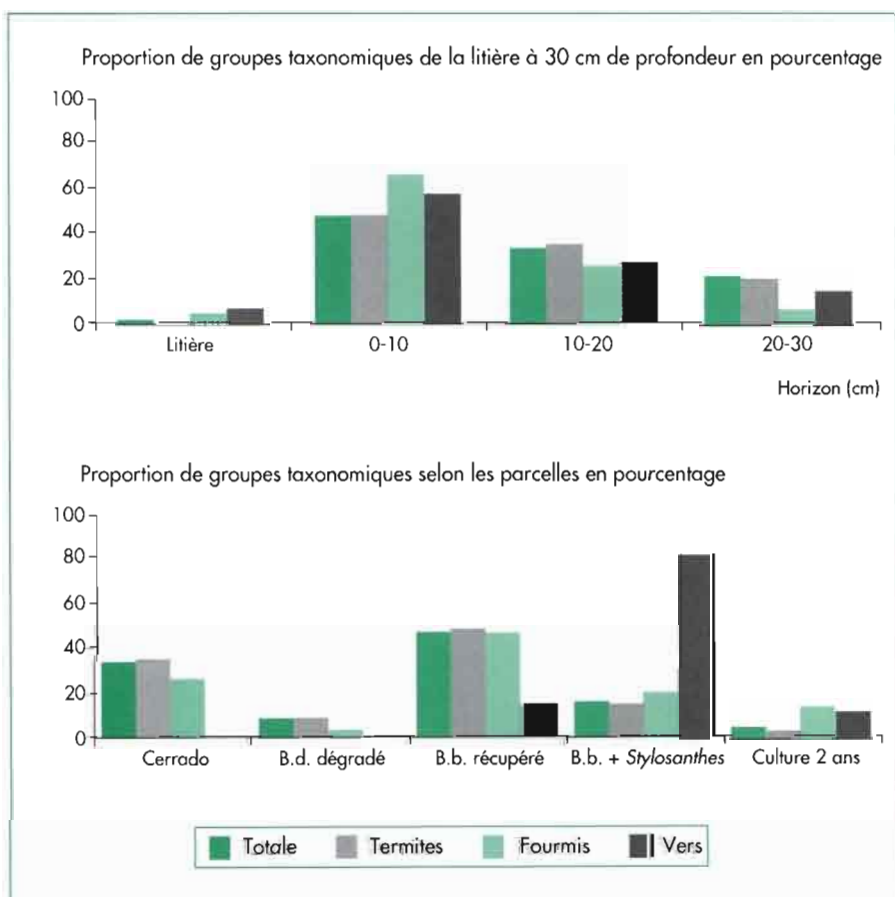


Figure 3. Proportion de densité de macrofaune d'invertébrés du sol dans les sites sur latosol argileux.



risent termites et fourmis, alors que la légumineuse associée fournit une offre alimentaire jouant sans doute sur le type de matière organique favorisant les vers de terre.

## Conclusions

Depuis plus de 30 ans, l'élevage bovin a connu un développement important dans les savanes d'Amérique du Sud (RIPPSTEIN *et al.*, 1996). Dans le Cerrado, les pâturages cultivés représentent sans doute plus du tiers des aires offertes à l'élevage. Actuellement, le durcissement de l'application de la législation en matière de mise en défens total de terres dans les propriétés, en agissant sur l'impôt sur le revenu des exploitations, va conduire à terme les éleveurs à revoir leur stra-

tégie d'élevage extensif. Les exemples qui ont été présentés montrent qu'il est possible d'améliorer la productivité des pâturages en gérant les surfaces fourragères comme des cultures de rente; l'investissement est d'autant plus intéressant s'il est intégré à une stratégie de rotation culture-pâturage. L'association des graminées avec les légumineuses est un des points clés, car l'amélioration des propriétés du sol avec, en particulier, l'offre alimentaire d'azote pour la graminée, doit être à tout prix recherchée. Le coût de l'engrais est un des principaux freins à l'amélioration de la productivité. Les travaux conduits actuellement montrent que les stratégies de renouvellement des pâtures peuvent augmenter de façon significative la capacité de charge animale et le gain de poids par hectare. Des pâturages dont la pro-

ductivité est en baisse peuvent voir une certaine reprise par une gestion raisonnée des troupeaux.

L'intégration des activités d'élevage et de cultures à cycles courts est relativement récente dans la région. Les producteurs qui le font en perçoivent déjà les avantages économiques et parfois environnementaux. Cependant, ces producteurs ne sont pas encore nombreux. Ceci peut s'expliquer par le nécessaire changement des infrastructures et par le fait que les intérêts respectifs des agriculteurs et des éleveurs paraissent actuellement opposés à court terme (SPAIN *et al.*, 1996). Pour être adoptées, ces technologies doivent induire des bénéfices à court et à moyen terme sur la production et la qualité des sols, et ne doivent pas impliquer de changements profonds du système de production.

## Bibliographie

AYARZA M.A., SOARES W., da ROCHA C.M., TEXEIRA S., BAHIA F., 1997a. Caracterização dos sistemas agrícolas e dos problemas de sustentabilidade em quatro regiões do Cerrado brasileiro. Doc. Embrapa-CPAC.

AYARZA M.A., VILELA L., PIZARRO E.A., da COSTA P.H., 1997b. Sistemas agropastorais basados en leguminosas de uso multiple : Una alternativa hacia una agricultura mas sustentable en el Cerrado brasileño. In CIAT-Annual Report 1997, Project PE2: Confronting soil degradation, Cali, Colombie, 4-20.

BARCELLOS A. de O., VIANA FILHO A., BALBINO L.C., PEREIRA de OLIVEIRA I., YOKOYAMA L.P., 1997. Produtividade animal em pastagens renovadas em solo arenoso de Cerrado. In Anais da XXXIV Reunião da SBZ, juillet 1997, Juiz de Fora-MG, p. 207-209.

BODDEY R., ALVES B.J.R., URQUIAGA S., 1996. Nitrogen cycling and sustainability of improved pastures in the Brazilian Cerrados. In Biodiversity and sustainable production of food and fibres in the tropical savannas, CARVALHO and BHERING NASSER (Eds), Proceedings of the First international symposium on tropical savannas, Brasília, Brésil, 24-29 mars 1996, p. 33-38.

CADISH G., CARVALHO E.F., SUHET A.R., VILELA L., SOARES W., SPAIN J.M., URQUIAGA S., GILLER K.E., BODDEY R., 1993. Importance of legume nitrogen fixation of pastures in the Cerrados of Brazil. Proceedings XVII Intern. Grassland Congress, Rockhampton, Australie, p. 1915-1916.

DIAS S. V., BROSSARD M., LOPES ASSAD M.L., 1997. Macrofauna edáfica invertebrada em áreas de vegetação nativa da região de Cerrados. In

Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. Trabalhos selecionados do 3º Congresso de Ecologia do Brasil, L.L. Leite & Saito C.H. org., UnB, Dept. Ecologia, Brasília, Brésil, p. 168-173.

Embrapa/CPAC, 1993. Recomendações para o estabelecimento e utilização do *Stylosanthes guianensis* cv. Minerão. Embrapa-CPAC Com. Téc. 67, Embrapa-CNPQC Com. Téc., 49 p.

FICHER J., 1995. Economic aspects of integrating crops and livestock in the Brazilian Cerrados. Master's thesis, univ. Göttingen, Allemagne, 50 p.

JONES P.C., RINCÓN M., CLAVIJO L.A., 1992. Classificação e mapeamento de áreas para a região dos Cerrados, Brasil. Segundo esboço, Land Use Program, CIAT, Cali, Colombie.

OLIVEIRA I.P. de, KLUTCHOUSKY J., YOKOYAMA L.P., DUTRA L.G., PORTES T. de A., SILVA A.E. da, PINHEIRO B. da S., FERREIRA E., CASTRO E. da M. de, 1996. Sistema barreira : recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Embrapa-CNPAC, Embrapa-CNPAC-APA, Goiânia, Brésil, 90 p.

MACEDO M.C.M., 1995. Pastagens no ecossistema Cerrados : pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In Anais do Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros, R.P. ANDRADE, A. de O. BARCELLOS, C.M.C. da ROCHA (Eds), XXXII Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Brasília, Brésil, p. 28-62.

MCCOWN R.L., THIAGALINGAN K., PRICE T., CARBERRY P.C., JONES R.K., DALGLEISH N.P., PEAKE D.C.I., 1993. A legume ley system in Australia's semi-arid tropics. In Proceedings Intern. Grassland Congress, Rockhampton, Australie 3 : 2 206-2 208.

OLIVEIRA SCHNEIDER M. DE, 1996. Bacia do Rio Uberabinha : uso agrícola do solo e meio

ambiente. Thèse de doctorat, université de São Paulo, Brésil.

PIZARRO E.A., RINCON A., 1994. Regional experience with forage *Arachis* in South America. In Biology and Agronomy of forage *Arachis*, KERRIDGE P.C. et HARDY W. (Eds), Ciat, Cali, Colombie, 209 p.

RESENDE M., KER J.C., BAHIA FILHO A.F.C., 1996. Desenvolvimento sustentado do Cerrado. In O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado, V.H. ALVAREZ V., L.E.F. FONTES and M.P.F. FONTES (Eds), Viçosa-MG, SBCS-UFV, p.169-199.

RIPPSTEIN G., LASCANO C., DECAENS T., 1996. La production fourragère dans les savanes d'Amérique du Sud intertropicale. Fourrages 145 : 33-52.

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N.A., 1996. L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. Agriculture et développement 12 : 2-61.

SPAIN J.M., AYARZA M.A., VILFLA L., 1996. Crop-pasture rotations in the Brazilian Cerrados. In Biodiversity and sustainable production of food and fibres in the tropical savannas, CARVALHO and BHERING NASSER (Eds), Proceedings of the First international symposium on tropical savannas, Brasília, Brésil, 24-29 mars 1996, p. 39-45.

THOMAS R.J., FISHER M.J., AYARZA M.A., SANZ J.L., 1995. The role of forage grasses and legumes in maintaining the productivity of acid soils in Latin America. In Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality, R. LAL and B.A. STEWARD (Eds), Advances in Soil Science Series, Boca Raton, Florida, Etats-Unis, p. 61-83.

WANIEZ P. 1992. Les Cerrados. Un espace frontière brésilien. GIP Reclus-Orstom, Montpellier, France, 344 p.

## Résumé... Abstract... Resumen

M.A. AYARZA, L. VILELA, A. DE O. BARCELOS, L.C. BALBINO, M. BROSSARD, A. PASINI — **Intégration culture-élevage dans les Cerrados au Brésil : une solution pour des systèmes durables.**

Les systèmes actuels de production de grains, viande et lait dans la région des Cerrados présentent des problèmes croissants économiques et de production. Une des solutions pour améliorer la production, tout en maintenant ou en améliorant la qualité des sols, consiste à intégrer dans les mêmes exploitations l'élevage et la production de grains, comme la rotation de cultures annuelles et de prairies, en associant ce processus au renouvellement ou à la récupération des pâturages. Ce travail présente, au travers d'expériences conduites chez les producteurs, les possibilités offertes par cette intégration de cultures à cycles courts et de l'élevage. Ces exemples sont choisis de manière à illustrer la variabilité de sols existante (latossols de diverses textures).

Mots-clés : système de culture, élevage, prairie, fertilité, légumineuse, zone tropicale humide, Brésil.

M.A. AYARZA, L. VILELA, A. DE O. BARCELOS, L.C. BALBINO, M. BROSSARD, A. PASINI — **Integrating agriculture and livestock rearing in the Cerrados, Brazil: a solution for sustainable systems.**

The current cereal, meat and milk production systems in the Cerrados are faced with growing economic and production problems. One way of improving output whilst maintaining or even improving soil quality is to integrate livestock rearing and cereal production on the same farm, for instance by rotating annual crops and prairies, and combining it with pasture renewal or recovery. This work describes trials conducted on farms and the possibilities offered by combining short-cycle crops with livestock rearing. The examples are chosen so as to illustrate the range of different soils (latossols of various textures).

Keywords: cropping system, livestock rearing, prairie, fertility, legume, humid tropical zone, Brazil

M.A. AYARZA, L. VILELA, A. DE O. BARCELOS, L.C. BALBINO, M. BROSSARD, A. PASINI — **Integración cultivos - ganadería en los Cerrados en Brasil: una solución para sistemas sustentables.**

Los sistemas actuales de producción de semillas, carne y leche en la región de los Cerrados presentan crecientes problemas económicos y productivos. Una de las soluciones para mejorar la producción, a la par de mantener o mejorar la calidad de los suelos, consiste en integrar en las mismas explotaciones la ganadería y la producción de semillas, como la rotación de cultivos anuales y de prados, al asociar este proceso a la renovación o a la recuperación de los pastos. Este trabajo presenta, a través de experimentos de campo llevados a cabo con los productores, las posibilidades ofrecidas para esta integración de cultivos de ciclos cortos y de ganadería. Estos ejemplos se escogen de manera a ilustrar la variabilidad de los suelos existentes (latossols de varias texturas).

Palabras-claves: sistema de cultivo, ganadería, prado, fertilidad, leguminosa, zona tropical húmeda, Brasil.



# Les transferts de fertilité dus à l'élevage en zone de savane

En zones soudano-sahélienne et soudanienne, les ruminants valorisent, du fait de leur rusticité, des ressources fourragères de faible qualité, pauvres en azote. La mobilité des troupeaux de bovins, caprins et ovins permet d'assurer des transferts de fertilité des zones de pâturage vers les aires cultivées qui bénéficient de la fumure animale. L'utilisation de cette fumure constitue un des éléments de base des modèles de développement fondés sur l'intégration de l'élevage et de l'agriculture au sein des terroirs et des exploitations agricoles.

**L**es transferts de fertilité se caractérisent par des flux de matières organiques et minérales liés à leur transport par les populations, par des phénomènes naturels (érosion hydrique et éolienne) et au déplacement du cheptel. Ils ne dépendent donc pas uniquement de l'élevage, mais son rôle dans ce domaine est prépondérant (figure 1).

Différents facteurs déterminent l'importance des transferts de fertilité : la taille du cheptel, le niveau d'équipement des exploitations (matériels de transport) et surtout l'importance accordée par les paysans à la fumure animale. Dans certaines situations, ils vont plutôt privilégier d'autres modes de gestion de la fertilité du sol : l'engrais minéral et la jachère. Des transferts de fertilité peuvent s'opérer non seulement horizontalement, d'un point à un autre du terroir, par le bétail ou l'érosion hydrique, mais aussi verticalement, entre les couches profondes du sol et l'horizon superficiel par le biais des végétaux pérennes (arbres et graminées). Ce type de transfert contribue activement aux

mécanismes d'amélioration de la fertilité des sols grâce à la jachère de longue durée et aux parcs arborés denses.

De plus, en zone soudanienne, les feux — accidentels ou provoqués — entraînent une perte importante de biomasse végétale (végétation naturelle des parcours, résidus de récolte) et donc de matière organique et de certains éléments minéraux : l'azote, le soufre, etc.

Notre analyse des transferts de fertilité à l'échelle d'un terroir s'appuie sur des observations réalisées dans deux terroirs au nord du Cameroun. Cette étude de cas, ainsi qu'une revue bibliographique, permettra dans un deuxième temps de caractériser les transferts de fertilité dans les principales situations agricoles de la zone de savane d'Afrique sub-saharienne.

## Etude de cas : les transferts de fertilité à l'échelle de deux terroirs au Nord-Cameroun

### Situation générale

L'étude a été menée en 1995 et 1996 dans deux terroirs agro-pastoraux, Oulolabo III et Héri, situés en zone cotonnière au Nord-Cameroun (DUGUE, 1998). Elle avait pour objectifs d'analyser les transferts de fertilité au sein du terroir et d'étudier avec les agriculteurs et les éleveurs des améliorations de la gestion des ressources naturelles et en fumure organique. Ces terroirs sont dominés

P. DUGUE

Cirad-tera, BP 5035, 34032 Montpellier  
Cedex 1, France  
Mél : [dugue@cirad.fr](mailto:dugue@cirad.fr)

par l'agriculture (plus des deux tiers des surfaces sont cultivées) mais le cheptel bovin intégré aux exploitations (bœufs de traits et d'élevage) est en plein essor (tableau 1).

Les systèmes de cultures sont similaires dans les deux villages : l'assolement est dominé par l'arachide, les céréales et surtout le cotonnier (30 à 40 % de la surface cultivée). Les possibilités de défrichement à Héri sont pratiquement inexistantes alors qu'elles existent toujours à Ourolabo (village plus récent). Dans les deux villages, la pratique de la jachère de longue durée n'est plus envisageable.

## La place de l'élevage

La charge en bétail (tableau 1) et les effectifs de ruminants ramenés à la population sont environ le double à Héri par rapport à Ourolabo : respectivement 43 unités de bovin tropical (UBT) pour 100 habitants au lieu de 25. Cette différence est surtout due à

une implantation plus ancienne des agriculteurs à Héri qui ont pu acquérir des bovins depuis une vingtaine d'années grâce aux revenus issus du coton. Les effectifs de petits ruminants restent modestes et correspondent à 15 % des effectifs globaux de ruminants exprimés en UBT.

Faute d'espace, l'élevage extensif des bovins conduit par les éleveurs foubè est en régression à Héri : certains éleveurs ont quitté le terroir dans les années 80, d'autres ont recours actuellement à la transhumance de courte durée (avril-juin) pour sécuriser l'alimentation de leur troupeau. Ourolabo ne compte qu'un troupeau extensif appartenant à un éleveur M'bororo sédentarisé. Mais les ressources fourragères disponibles dans ce terroir en saison sèche attirent des troupeaux allochtones qui exploitent la vaine pâture (pailles de céréales et de légumineuses). Environ deux tiers de cet effectif de bovins (600 UBT) retournent chaque soir dans des campe-

ments situés en périphérie du terroir. Le tiers restant dépose la nuit dans quelques parcelles de grandes quantités de fèces. Aucun contrat de parage n'a été établi entre éleveurs et agriculteurs. L'éleveur n'a donc aucun intérêt à réaliser un parage régulier et homogène mobilisant du travail (déplacement des enclos ou des piquets d'attache).

## Fertilisation des cultures, gestion de la fertilité du sol

L'engrais minéral, le choix de l'assolement et des rotations et, dans une moindre mesure, la fumure organique et la jachère de courte durée, constituent l'essentiel des pratiques de gestion de la fertilité du sol dans ces deux terroirs. L'emploi de la fumure minérale (NPK + urée) y est prépondérante : toutes les parcelles de coton reçoivent de l'engrais (en moyenne 145 kg/ha) ainsi qu'une grande partie des surfaces en maïs (110 kg/ha) et 10 % des sur-

## Les partenaires de l'étude au Cameroun

Cette étude a été réalisée de 1995 à 1997 dans le cadre d'une action thématique programmée (ATP) intitulée « Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle du terroir » associant l'Institut de la recherche agricole pour le développement (Irad, Cameroun), la station de Bebedja (Tchad) et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad, France). Parallèlement à ces travaux, une opération de recherche-développement a été menée dans 5 villages de la zone cotonnière du Nord-Cameroun, dont les deux retenus pour cette étude (Héri et Ourolabo). Cette opération consistait à mettre au point des innovations techniques avec les paysans, à appuyer l'émergence d'organisations de producteurs (approvisionnement en produits vétérinaires, mécanisation partagée) et à élaborer une méthode de conseil de gestion aux exploitations agricoles. Ces activités se poursuivent actuellement dans le cadre du Pôle de recherches appliquées pour les savanes d'Afrique centrale (Prasac).

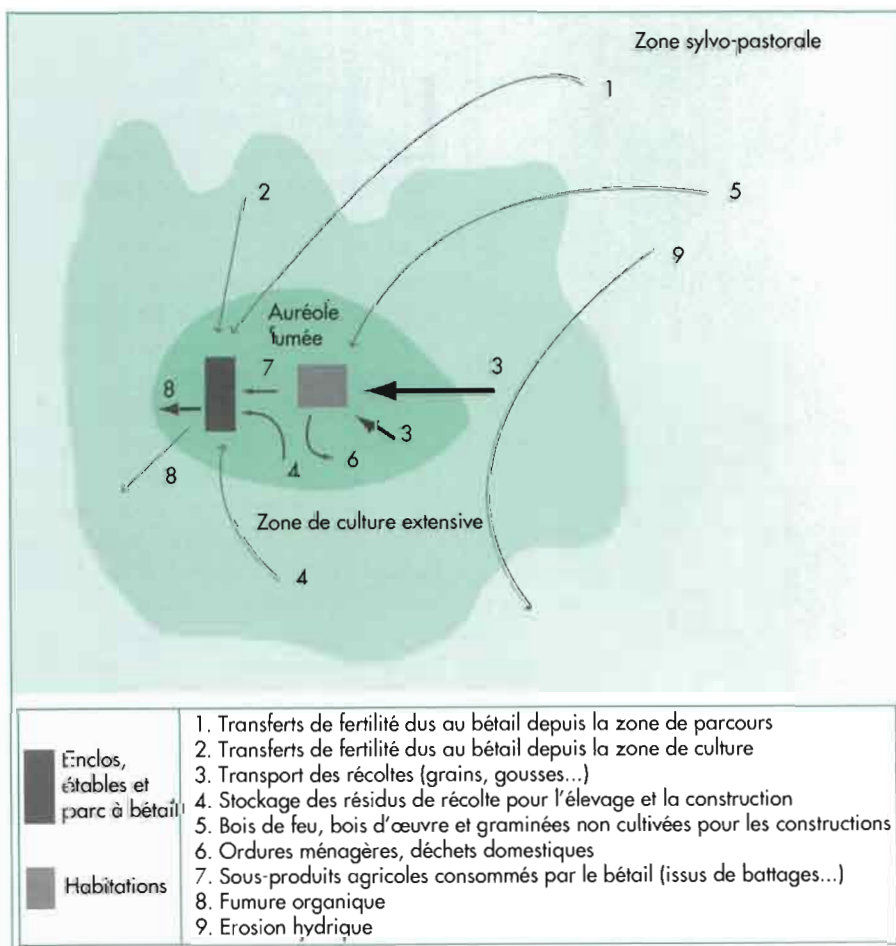


Figure 1. Flux de matière au niveau d'un terroir agro-pastoral.



faces en sorgho (50 kg/ha d'urée uniquement). La majeure partie de ces engrais est fourni à crédit par la Sodecoton. Malgré ces apports, les bilans minéraux annuels établis pour l'ensemble de la zone cultivée sont déficitaires à Héri : – 11 kg/ha en  $K_2O$ , – 11 kg/ha en N et – 4 kg/ha en  $P_2O_5$ . Les bilans sont à peu près équilibrés pour les deux éléments (N et P) mais déficitaires en  $K_2O$  à Ourolabo (DUGUE, 1998). Ces bilans seraient encore plus déficitaires si l'on prenait en compte les pertes dues à l'érosion hydrique, phénomène qui prend de

l'ampleur à Héri. Face à ce constat et en raison de la pression foncière et de la culture continue que connaissent ces deux terroirs, la disponibilité en fumure animale devrait être un atout important pour entretenir la fertilité du sol dans les exploitations possédant du bétail.

## L'utilisation actuelle de la fumure animale

L'utilisation de la fumure animale a débuté à Héri vers les années 80 et seulement en 1994 à Ourolabo. Elle

reste encore aujourd'hui largement sous valorisée (tableaux 2 et 3). Ceci est dû au fait que les paysans disposaient jusqu'à ces dates de terres fertiles qu'ils venaient de défricher. Aujourd'hui, la fumure produite par 41 % du cheptel bovin détenu par les agriculteurs à Héri et 74 % à Ourolabo est totalement abandonnée. Dans les exploitations utilisant actuellement la fumure animale, une grande partie de la poudrette produite en saison des pluies est perdue par manque de dispositif de stockage (étable fumièr, abri, fosse). La fumure produite par les troupeaux des éleveurs de Héri en saison des pluies n'est pas valorisée, car les parcs sont installés en zone de parcours loin de la zone cultivée. Les parages de saison sèche réalisés dans les champs concentrent la fumure des troupeaux des éleveurs sédentaires ou transhumants sur de petites surfaces à une dose moyenne voisine de 40 tonnes par hectare de matière sèche. L'efficacité de cette pratique pourrait être nettement meilleure si l'épandage de fumure était plus homogène et correspondait à une dose de 10 tonnes. Enfin, les déjections des petits ruminants et des ânes ne sont pratiquement pas employées.

Lors du pâturage sur parcours naturels ou dans les champs après la récolte, les troupeaux dispersent leurs déjections sur une grande surface. Dans les parcelles cultivées, la quantité de fumure organique ainsi apportée ne dépasse jamais 200 kilos par hectare et a donc un faible impact sur l'entretien de la fertilité du sol.

## Le potentiel de fumure organique d'origine animale

En valorisant simplement toute la poudrette produite par les différents cheptels en stabulation nocturne, les propriétaires de bétail pourraient multiplier la surface fumée à l'échelle du terroir par 8 à Héri et par 10 à Ourolabo. Mais la valorisation de la totalité de cette production implique que les paysans et les éleveurs mobilisent beaucoup plus de travail pour stocker la fumure animale en saison des pluies, pour la transporter et pour amé-

Tableau 1. Peuplement, place de l'élevage et occupation de l'espace à Héri et à Ourolabo, Nord-Cameroun.

Caractérisation des terroirs	Ourolabo	Héri
Surface du terroir (ha)	974	1 313
Population (hab)	810	1 450
Charge en bétail /terroir (UBT/km <sup>2</sup> )	21	47
UBT/surface cultivée	0,32	0,62
Occupation de l'espace (%)		
– zone cultivée	66	77
– jachère	10	0
– parcours + pistes + habitations	24	23
Surface défrichée en 1994 et 1995 (ha)	84	9

Tableau 2. Utilisation de la fumure organique d'origine animale à Héri et à Ourolabo, Nord-Cameroun (campagne agricole 1996).

Modes d'utilisation	Héri	Ourolabo
<b>Apport de poudrette depuis les enclos</b>		
Surface fumée (ha)	9,8	1,3
Dose moyenne (t/ha)	7,3	8,4
Nombre de bovins concernés	242	40
Nombre de bovins dont la fumure est abandonnée	171	114
<b>Fumure par le biais du parage</b>		
Surface parquée et fumée (ha)	1,1	1,1
Dose moyenne (t/ha)	39	38,3
<b>Surface totale fumée (ha)</b>	10,9	1,2
% de la surface cultivée	1,2	0,4

Tableau 3. Evaluation des pertes en fumure animale et des surfaces correspondantes à Héri et à Ourolabo, Nord-Cameroun (campagne agricole 1996).

Pertes et surfaces concernées	Héri	Ourolabo
Pertes totales* (t)	348	101,8
Surface équivalente si apport à 5 t/ha (ha)	69,6	20,4
Surface actuellement fumée (ha)	10,9	2,4
Surface totale fumée par la poudrette (ha)	80,5	22,8
Surface fumée supplémentaire)		
– par recyclage de 1 kg/jour/UBT (ha)	13	4
– par recyclage de 5 kg/jour/UBT (ha)	87	25

\* Pertes totales = quantité de poudrette non utilisée (bovins + ruminants + ânes).

liorer les techniques de parbage. D'une façon générale, le sous-équipement de ces villages en charrettes bovines (une dizaine d'unités à Ourolabo) et surtout asines (aucune exploitation équipée) constitue le frein majeur.

Ces bilans montrent clairement l'importance des pertes de fumure mises en évidence dans diverses régions sahéliennes et soudaniennes (GUILLONEAU, 1988). Mais la surface qui pourrait être fumée avec la totalité de la production nocturne de poudrette reste limitée même dans le cas de Héri (80,5 ha soit 8 % de la surface totale cultivée). Pour accroître ce ratio, d'autres filières de production de fumure organique comme le fumier et le compost doivent aussi être envisagées. On rappellera que, dans le cas de systèmes de culture en continu sans pratique de la jachère, le statut organique du sol est maintenu grâce à un apport de fumure organique à la dose de 5 tonnes par hectare tous les 2 ans. A l'échelle d'un terroir ou d'une exploitation, 50 % de la surface cultivée doit être fumée à cette dose chaque année.

## Localisation des apports de fumure et caractérisation des transferts de fertilité

A partir du suivi d'un échantillon de troupeaux bovins, on dispose pour ces deux terroirs d'une description assez précise des déplacements des troupeaux et donc de la localisation des zones de pâturage en fonction des saisons (REISS *et al.*, 1997). Par ailleurs, les apports de fumure organique ont pu être quantifiés et localisés. Il est ainsi possible de présenter un modèle simplifié des transferts de fertilité liés à l'élevage en distinguant les deux grandes périodes de l'année : la saison agricole et la saison sèche.

### Conduite des troupeaux et transferts de fertilité

On retrouve à Héri la distribution de la fumure organique en auréole autour des habitations observée dans biens des situations en Afrique subsaharienne. On la devine à Ourolabo. Les cas où les paysans transportent la poudrette sur des distances

supérieures à 500 mètres sont rarissimes (figures 2 et 3).

Durant la saison agricole (mai à octobre) tous les troupeaux du village s'alimentent sur les parcours naturels du terroir mais aussi en périphérie (figure 4). Les animaux, en retournant chaque soir dans des concessions ou dans des parcs, vont concentrer dans ces lieux de la fumure organique. Celle-ci ne sera utilisée pour les cultures de l'année suivante qu'à hauteur de 15 à 20 % selon nos estimations, pour les raisons déjà évoquées. Les transferts de fertilité durant cette période s'opèrent des zones de parcours vers les enclos mais sont ensuite mal valorisés par les paysans.

En début de saison sèche (novembre à janvier), les bergers privilégient la vaine pâture des champs récoltés. Ensuite, les troupeaux diversifient leur alimentation en associant le pâturage sur parcours naturels (lorsqu'ils ne sont pas détruits par le feu), les restes de résidus de récolte au sol et les compléments alimentaires distribués par les bergers. En saison sèche, la

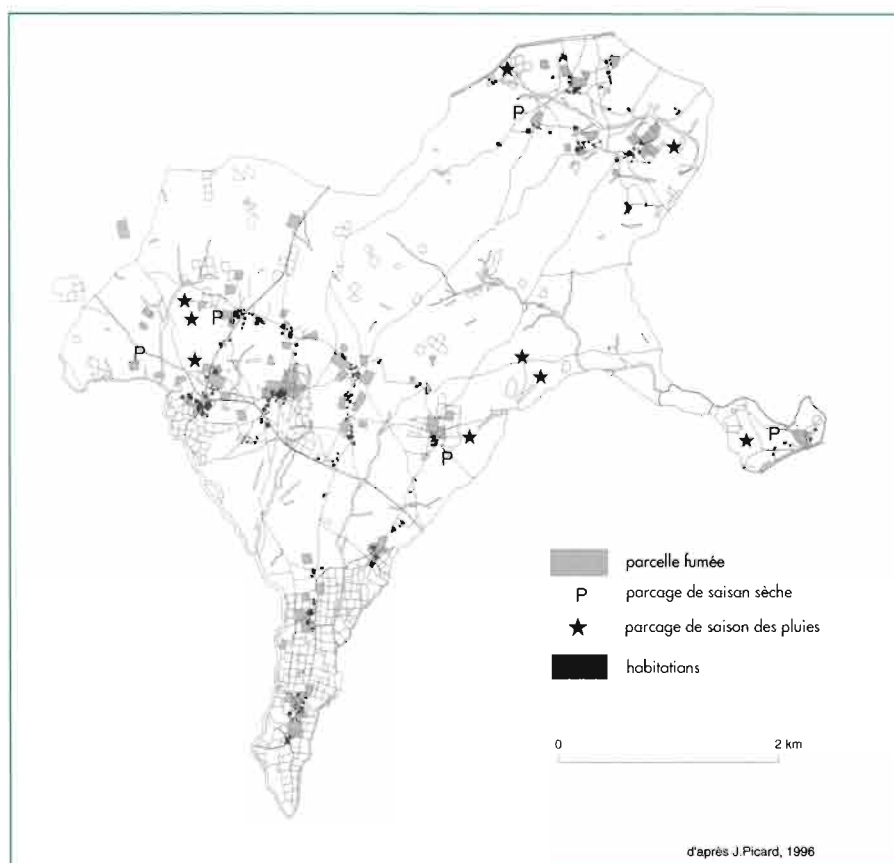


Figure 2. Localisation des apports de fumure organique à Héri 1995/1996.

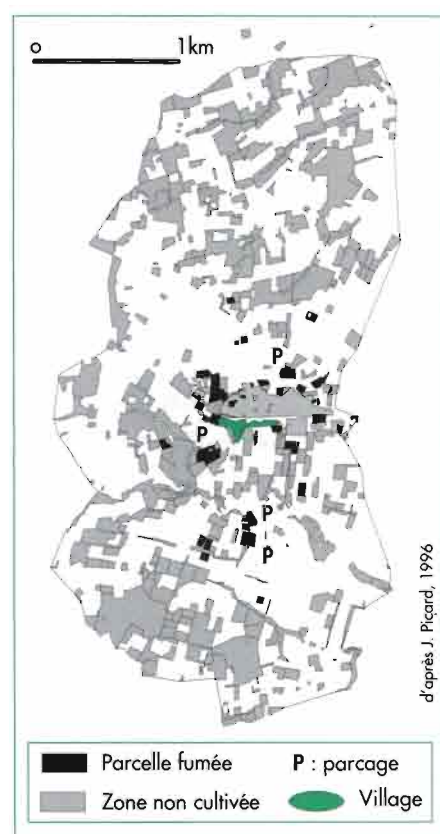


Figure 3. Localisation des apports de fumure organique à Ourolabo 1995/1996.



majeure partie de l'alimentation du bétail est donc issue de la zone cultivée — vaine pâture, résidus de culture stockés et tourteau de coton. Les parcours naturels fournissent moins de 30 % des besoins en matière sèche du bétail. La fumure organique produite à cette période est mieux utilisée mais elle correspond principalement à un transfert d'éléments minéraux et organique de l'ensemble de la zone cultivée vers les auréoles fumées proches des habitations (figure 4).

Lors de la saison sèche, les troupeaux allochtones séjournant uniquement la journée dans le terroir d'Ourolabo vont assurer un transfert de fertilité vers les villages et les campements périphériques où ils résident la nuit.

#### Flux de résidus de culture et de sous-produits agricoles

On peut affiner cette analyse en considérant les éléments majeurs de la complémentation alimentaire de saison sèche : les résidus de culture (les pailles de céréales, les fanes de légumineuses) et de transformation

des produits (drêche de bière de sorgho et tourteau de coton). Ces aliments vont être consommés par le bétail et recyclés en fumure organique de saison sèche qui sera partiellement épandue dans les parcelles proches des habitations. Ce type de transfert est effectué là aussi entre l'ensemble de la zone cultivée vers l'auréole fumée. Actuellement, pour les deux terroirs, environ 10 % de la production de résidus de récolte est stockée pour l'alimentation du bétail. Ce ratio devrait progresser avec l'accroissement de la charge animale, ce qui entraînerait une baisse des pertes de résidus de culture consommables dues piétinement par le bétail. En raison de la forte demande en tourteau au Nord-Cameroun, la consommation ne peut guère progresser dans ces deux villages qui ne rachètent à la Sodécoton que 20 % des quantités de tourteau qu'ils produisent potentiellement. En dehors de faibles quantités de fourrages arborés ramenées dans les enclos, nous n'avons pas observé de flux importants de fourrage provenant des parcours vers les concessions,

comme c'est le cas dans certaines régions du Sénégal et du Niger où les éleveurs collectent des quantités importantes de paille de graminées naturelles (ANGE, 1991).

Du fait de la sous-utilisation de la fumure organique produite en saison des pluies et de la faible contribution des parcours naturels à l'alimentation du bétail en saison sèche, les transferts de fertilité entre le saltus et l'ager sont actuellement limités. La consommation des résidus et des sous-produits agricoles par le bétail permettrait un recyclage efficace de la biomasse issue de la zone cultivée si la fumure animale qui en résultait était bien valorisée. En l'absence d'élevage, les résidus au champ seraient totalement détruits par le feu (perte en matière organique et en azote) et les sous-produits seraient exportés des terroirs (tourteau) ou pas utilisés (drêches), augmentant ainsi les pertes en éléments nutritifs à cette échelle. Il faut cependant considérer que les transferts de fertilité interne à la zone cultivée ne peuvent pas « enrichir » globalement cette portion de l'espace mais seulement limiter les pertes en éléments nutritifs.

#### Les voies d'amélioration

Nous ne détaillerons pas ici les différentes innovations permettant d'accroître la production de fumure organique, les disponibilités fourragères et la productivité des troupeaux (BERGER, 1996 ; DULIEU, 1986 ; LHOSTE *et al.*, 1993). La diffusion de ces innovations permettrait d'atteindre deux objectifs primordiaux :

- le recyclage en fumure organique (compost, fumier) d'une plus grande quantité de biomasse végétale issue des zones pastorales et agricoles afin de limiter les pertes par le feu ;
- l'accroissement des disponibilités fourragères permettant d'augmenter la charge animale et par conséquent la production de fumure animale.

En considérant les principales caractéristiques qui différencient les deux terroirs étudiés (occupation de l'espace, charge animale...) il est possible d'évaluer qualitativement le progrès lié à l'amélioration de la

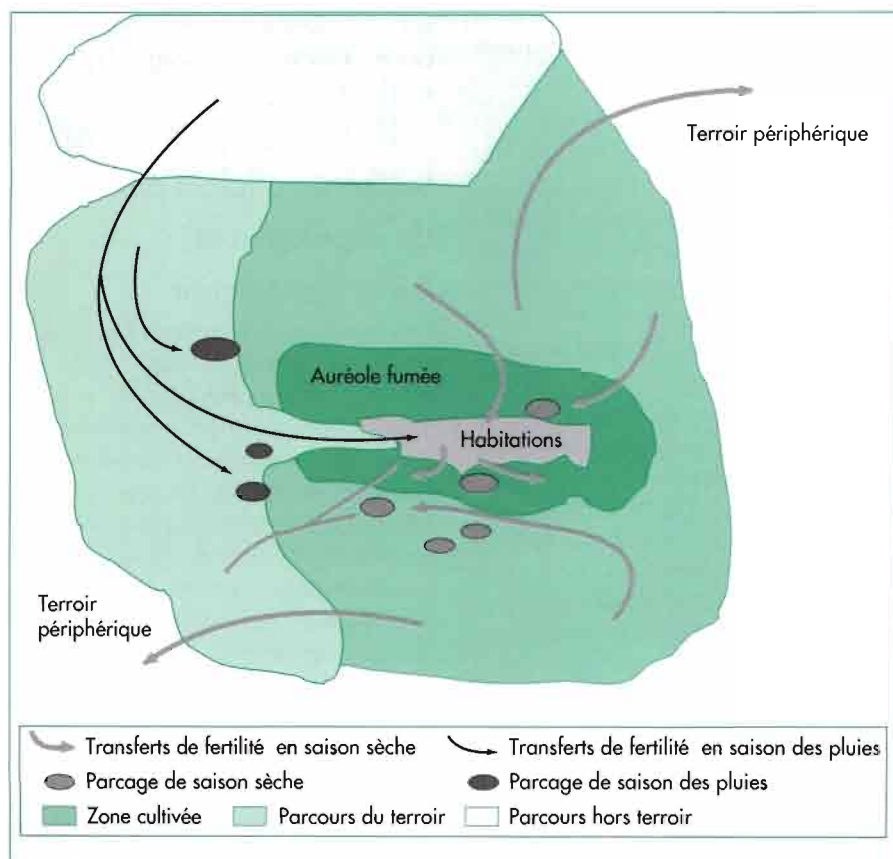


Figure 4. Localisation des transferts de fertilité dus à l'élevage selon les saisons.

production de fumure organique et à l'efficacité des transferts de fertilité.

A Héri, en raison d'une charge en bétail plus importante, les disponibilités en biomasse végétale après consommation sont plus faibles qu'à Oroulabo. L'amélioration de la productivité des parcours naturels est difficile car elle nécessiterait une forte mobilisation en travail de la part de toute la population. Mais une partie de la grande masse de tiges de cotonniers brûlée chaque année pourrait être recyclée dans des parcs à bovins et des étables fumières. L'accroissement du disponible fourrager est aussi envisageable dans certaines conditions :

- du fait du manque de terrain agricole, le développement des cultures fourragères ne pourra se faire que par le biais d'associations avec des cultures alimentaires et le développement de parcs arborés ;

- une meilleure valorisation des fanes d'arachide (30 à 35% de l'assolement) est possible si les paysans modifient l'itinéraire technique de cette culture de façon à la récolter en début de saison sèche et non plus en période pluvieuse ce qui entraîne le pourrissement des fanes.

A Oroulabo, à cause de la pression foncière moindre, les possibilités d'améliorer les transferts de fertilité sont plus importantes qu'à Héri. L'augmentation de la production de fumure organique demande, entre autres, que les paysans achètent plus de bovins ou assurent un meilleur accueil des troupeaux allochtones dans le cadre de contrats de parage. Les villageois réserveraient l'accès à la vaine pâture aux éleveurs qui s'engagent à passer la nuit dans le terroir de façon à limiter les transferts de fertilité vers l'extérieur. L'alimentation de ce cheptel supplémentaire serait assurée par le développement des cultures fourragères et le contrôle des feux de brousse. Certaines innovations testées avec succès par les paysans pourraient être adoptées à grande échelle : *Mucuna pruriens* associé au maïs, niébé fourrager ou vivrier cultivé en dérobé après une culture d'arachide ou de maïs précoce (DUGUE et OLINA, 1997). Par

ailleurs, le feu détruit 30 à 40 % de la production de résidus culturaux et 80 % de la biomasse sur pied des parcours naturels en saison sèche. Ces quantités actuellement brûlées pourraient être en partie recyclées par le bétail ou par simple décomposition en tas (compost) ou en mulch sur le sol.

La litière de paille de céréales ou de tige de cotonnier peut être efficacement recyclée par les bovins en fumier de qualité. Dans les deux terroirs, les disponibilités en résidus non consommés par le bétail sont élevées : 1 060 tonnes à Héri et 540 tonnes à Oroulabo, composées pour moitié de tiges de cotonnier. Un apport de litière de 1 kg/jour/UBT pendant toute la durée de la saison sèche n'augmenterait que de 15 % en moyenne la production de fumure organique dans ces deux villages. Le parc d'hivernage peut recycler jusqu'à 5 kg de litière par UBT et par jour de saison sèche mais nécessite de laisser le mélange déjections animales + litière en tas durant la saison des pluies suivante pour en assurer sa décomposition (BERGER, 1996). Cette technique doublerait la production de fumure organique et par conséquent la surface recevant ce type de fumure (tableau 3).

Faute de moyen de transport, les apports de poudrette dans ces deux terroirs sont le plus souvent réalisés juste derrière les concessions sur de petits espaces et à forte dose. Le développement du parc de charrettes devient prioritaire si l'on veut accroître le rayon d'intervention des paysans pour la collecte de fourrage et de litière et l'apport de fumure organique. Un meilleur dosage de la fumure organique (entre 5 et 10 t/ha) améliorera son efficacité. Ainsi, par le biais du transport attelé ou des contrats de parage, il serait aussi possible d'orienter les transferts de fertilité vers des zones plus éloignées des habitations dont la baisse de fertilité est jugée préoccupante par les paysans. Pour cela, la recherche et le développement doivent soutenir leurs interventions dans le domaine du transport en milieu rural (équipement, rentabilité, utilisation collective).

## Transfert de fertilité et occupation de l'espace en zone de savane

L'étude de cas montre clairement que la nature et l'importance des transferts de fertilité dus à l'élevage dépendent de trois facteurs :

- la productivité des parcours et de la zone cultivée liée à la fertilité du milieu, va déterminer la quantité de biomasse consommable par le bétail ;
- le ratio surface pastorale/surface totale du terroir et le facteur précédent vont déterminer la charge animale maximale possible en saison des pluies et donc en grande partie l'importance des transferts de fertilité du saltus vers l'ager ;
- le nombre de bovins par hectare cultivé détermine effectivement la quantité de fumure animale disponible par unité de surface cultivée.

Afin de dépasser le cadre de l'étude de cas, nous nous proposons, à partir d'une revue bibliographique, d'analyser la diversité des types de transfert de fertilité dus à l'élevage en Afrique sub-saharienne en prenant en compte ces trois facteurs explicatifs (LANDAIS *et al.*, 1991).

## Les zones à faible densité de population et à élevage extensif

Ces zones correspondent aux régions peuplées généralement par des ethnies d'éleveurs (Peuhl, Foulbè, Toucouleur...) partiellement sédentarisées où la production céréalière s'est développée ces 30 dernières années. Le rapport UBT/ha cultivé se situe entre 8 et 15 avec une charge animale généralement limitée (moins de 10 UBT/km<sup>2</sup>) à cause de la faible densité de population.

Les rendements en céréales sont généralement élevés du fait d'une bonne fertilité du sol entretenue par des apports réguliers de fumure animale et, si besoin, par le recours à la jachère (BOUTRAIS, 1995 ; ADAMOU, 1989). Le parage du bétail sur une partie de



l'aire de culture en saison sèche est systématique. Le parage de saison des pluies sur des jachères de courte durée, observé chez certains éleveurs M'bororo au Nord-Cameroun, est moins fréquent. Les transferts de fertilité se font presque exclusivement depuis les zones pastorales vers les zones cultivées (figure 5). La durabilité de ces systèmes de production est assurée tant que la surface cultivée n'augmente pas considérablement à cause de l'arrivée de paysans migrants par exemple.

### Les zones d'élevage traditionnel où les surfaces cultivées progressent rapidement

Ces situations sont de plus en plus fréquentes en Afrique sub-saharienne, surtout dans les zones cotonnières. Elles se caractérisent par une juxtaposition sur les mêmes espaces de l'agriculture et de l'élevage. Du fait de l'accroissement démographique et de l'intérêt des paysans pour les cultures de vente, les surfaces cultivées augmentent régulièrement. Les agriculteurs ont aussi comme objectif de développer l'élevage bovin. Lorsque la densité de population est encore modérée (20-50 hab/km<sup>2</sup>), l'entretien de la fertilité du sol est assuré à la fois

par la jachère, l'utilisation des engrais minéraux et les transferts de fertilité dus au bétail. Ces transferts proviennent principalement des zones de parcours ainsi que des zones cultivées ouvertes à la vaine pâture en saison sèche (figure 5). Lorsque le rapport UBT/ha cultivé est élevé (supérieur à 1) et que les exploitations agricoles sont bien équipées en charrettes, les surfaces concernées par la fumure animale peuvent être importantes comme c'est le cas au sud du Mali : 90 % des exploitations agricoles déclarent utiliser ce type de fumure qui concerne 36 % des surfaces en maïs et environ 15 % des surfaces en cotonnier (GIRAUDY, 1995).

L'équilibre est assuré par la conjonction d'une charge animale élevée (de l'ordre de 30 UBT/km<sup>2</sup>) et d'une préservation d'un espace de parcours naturels non cultivé sur plus de la moitié de la surface totale des terroirs. Ces parcours permettent d'assurer l'alimentation du bétail une bonne partie de l'année, et de pratiquer la jachère. Lorsque les surfaces cultivées progressent, les agriculteurs doivent rechercher concomitamment une augmentation des effectifs de bovins afin de maintenir, voire d'augmenter, la production de fumure organique par hectare cultivé (BOSMA *et al.*, 1995). Dans ce contexte, l'amélioration des disponibilités fourragères est indispensable,

comme cela a été mis en évidence et proposée dans les régions les plus peuplées de la zone cotonnière au Mali (culture de dolique associée au maïs, jachère de courte durée à base de légumineuses fourragères...).

### Les zones à dominante agricole où l'élevage est régression

Cette troisième situation découle directement de la précédente du fait de l'accroissement de la population (plus de 60 hab/km<sup>2</sup>) et des surfaces cultivées au détriment des espaces pastorales. Dans un premier temps, l'élevage extensif régresse ou migre vers des zones moins peuplées (GARIN *et al.*, 1995 ; LERICOLLAIS *et al.*, 1994). Cette diminution d'effectif peut être compensée par un accroissement du cheptel bovin intégré aux exploitations (cas du terroir de Héri). Les cultures concernent 60 à 90 % de la surface du terroir. L'impact de l'élevage sur l'entretien de la fertilité des sols cultivés devient forcément très limité du fait d'un rapport UBT/ha cultivé souvent inférieur à 0,5 (DUGUE *et al.*, 1997).

En zone soudano-sahélienne (moins de 800 mm/an), l'élevage bovin producteur de fumure peut régresser rapidement à cause des mauvaises conditions pluviométriques qui affectent

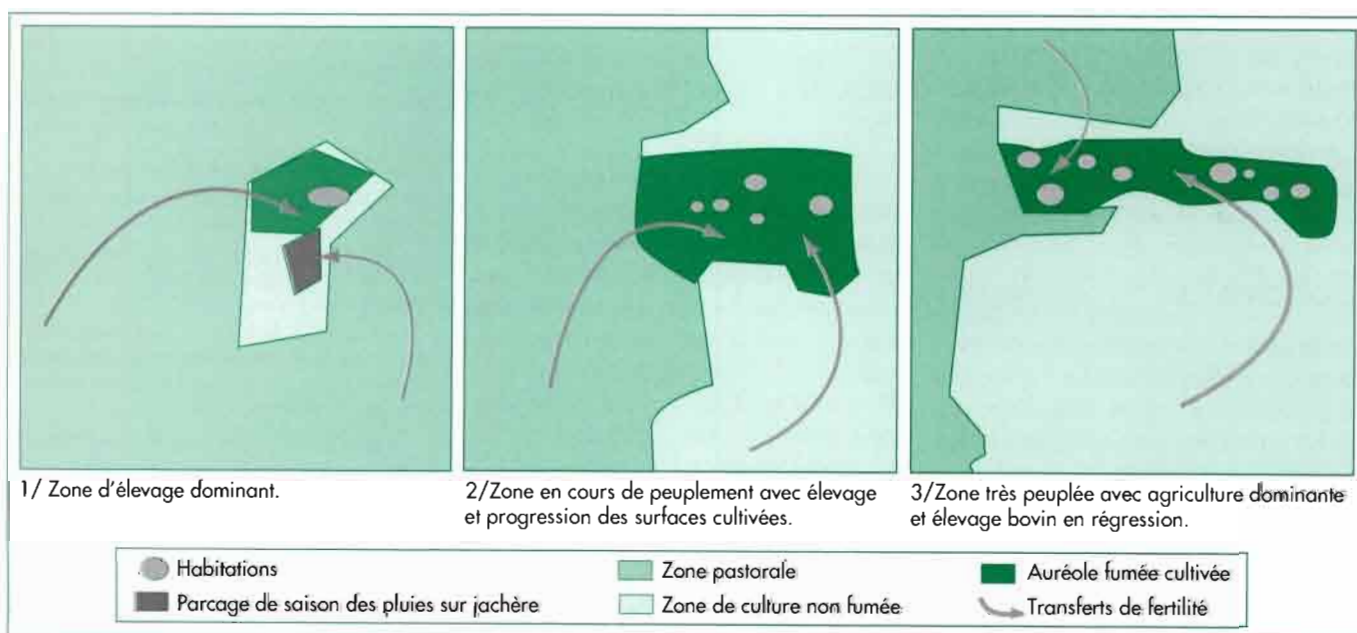


Figure 5. Localisation des transferts de fertilité dus à l'élevage selon les saisons.

tent les rendements des cultures (donc ceux en résidus) mais aussi la production des parcours naturels (LHOSTE, 1987 ; DUGUE, 1985). Les éleveurs migrent avec leurs troupeaux vers des régions plus humides. Les paysans sont alors obligés de vendre une partie de leur troupeau pour assurer leur approvisionnement vivrier et la mortalité du bétail augmente à la suite de la réduction drastique des disponibilités fourragères. Dans ces situations, de plus en plus fréquentes en zone soudano-sahélienne, les transferts de fertilité dus à l'élevage sont très limités, même si les paysans gèrent avec beaucoup d'attention leurs maigres ressources en fumure animale (figure 5). L'impact potentiel du recyclage de la biomasse végétale non consommée par le bétail en fumier ou en compost reste faible du fait des disponibilités en résidus de culture après prélèvement par le bétail et les populations, le plus souvent inférieure à 700 kg/ha (DUGUE, 1996 ; BADIANE, 1998). Il semble alors difficile de modifier notablement l'importance de ces transferts qui nécessiterait une recapitalisation des exploitations agricoles (achat de bovins et de matériel de transport) ainsi qu'un accroissement du disponible fourrager. La principale alternative d'entretien de la fertilité du sol repose non plus sur l'élevage mais sur des transferts verticaux réalisés par les parcs arborés.

Dans les régions plus humides (800-1 200 mm) ce type de transfert vertical peut être toujours assuré par des arbres ou des arbustes (cultures en couloir) mais aussi par des plantes de couverture qui ont par ailleurs comme fonction de réduire les pertes par érosion (TRIOMPHE, 1995).

## Conclusion

Les transferts de fertilité dus à l'élevage jouent pleinement leur rôle dans la gestion des sols cultivés lorsque d'une part le rapport UBT/ha cultivé est supérieur à 1 et d'autre part, la surface cultivée n'excède pas 50 % de la surface totale des terroirs (ce qui correspond à une densité de population inférieure à 40 ou 50 hab/km<sup>2</sup>). Par ailleurs, la durabilité des transferts de fertilité du saltus vers l'ager repose sur

la capacité des zones de parcours à produire de la biomasse consommable par le bétail. Cette production sera pérenne si les mécanismes biologiques naturels d'entretien de la fertilité de sol de cette portion de terroir ne sont pas altérés. L'entretien de la productivité des zones de parcours par une gestion raisonnée des formations végétales arborées et herbacées qui s'y trouvent est donc essentiel dans ces régions où la charge en bétail est en progression.

Les travaux menés au Nord-Cameroun, ainsi que ceux actuellement en cours en zone de savane (Haute-Casamance au Sénégal, sud du Tchad et du Burkina Faso), mettent en évidence l'accroissement des surfaces cultivées et le rôle de plus en plus important qu'elles jouent dans l'alimentation du bétail. Cette évolution s'accompagne d'une réduction des transferts de fertilité de la zone de parcours vers l'aire de culture. Les transferts de fertilité internes à la zone cultivée se développent par les apports plus fréquents de fumure organique mais aussi des récoltes de résidus de culture, voire dans quelques cas de production fourragère. Dans ce contexte, une intensification conjointe des productions végétales et animales est à rechercher. Les contraintes majeures à sa mise en œuvre sont, d'une part, les difficultés des paysans à s'approvisionner en engrais — intrant indispensable à l'augmentation significative de la biomasse végétale — et, d'autre part, la faible rémunération des produits d'élevage dans la grande majorité des régions.

La poursuite de ces travaux devrait permettre de mieux prévoir les évolutions des systèmes agraires soumis à un accroissement démographique constant : quelle sera la place de l'élevage ? Quels sont les systèmes de cultures et d'élevage à promouvoir ? Parallèlement, un accent particulier doit être mis sur l'élaboration de méthodes de formation et d'appui aux populations rurales qui doivent :

- leur fournir les informations afin qu'elles s'adaptent rapidement aux nouvelles contraintes avant que les processus de dégradation des ressources naturelles aient pris de l'ampleur ;

- améliorer la coordination entre les groupes de producteurs aux stratégies différents (paysans sans bétail, agro-éleveurs, pasteurs) ;

- aboutir à la mise en place de services (crédit, vulgarisation, approvisionnement...) dont la gestion sera assurée tout ou partie par les producteurs afin de valoriser les innovations techniques disponibles, en particulier celles qui concernent la production de fumure organique et la gestion de la fertilité des sols.

## Bibliographie

ADAMOU D., 1990. Etudes des systèmes de culture en milieu éleveurs : cas du territoire de Banh. Mémoire, Cnearc, Cirad, Montpellier, France ; Inera, Ouagadougou, Burkina Faso, 107 p.

ANGE A., 1991. La fertilité des sols et les stratégies paysannes de mise en valeur des ressources naturelles. Le mil dans les systèmes de cultures du sud du bassin arachidier sénégalais. In *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* Ed. Focal Coop, ministère de la coopération et du développement, Paris, France, p. 89-122.

BADIANE A., 1993. Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. Thèse de doctorat, Inpl, Ensaia, Nancy, France, 200 p.

BERGER M., 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. Pochette de sept fiches techniques + bibliographie, numéro hors-série, Agriculture et développement.

BOSMA R., BENGALY K., TRAORE M., ROELED A., 1992. L'élevage en voie d'intensification. Synthèse de la recherche sur les ruminants dans les exploitations agricoles mixtes au Mali-Sud. Kit, Ier, Bamako, Mali, collection systèmes de production rurale au Mali 3, 202 p.

BOSMA R., BENGALY M., DEFOER T., 1995. Pour un système durable de production au Mali-Sud : accroître le rôle des ruminants dans le maintien de la matière organique des sols. In *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-saharan Africa*. Addis Ababa, Ethiopie, Ilca, p. 212-223.

BOUTRAIS J., 1995. Hautes terres d'élevage au Cameroun. 2 vol. Collection Etudes et thèses, Orstom, Paris, France.

DUGUE P., 1985. L'utilisation des résidus de récolte dans un système agro-pastoral sahélo-soudanien au Yatenga (Burkina Faso). *Cahiers de la recherche-développement* 7 : 28-37.

DUGUE P., 1996. Le recyclage des résidus de récolte en vue d'accroître l'utilisation de la fumure organique. Le cas du Sine Saloum (Sénégal). Document de travail Cirad-sar 6/96, Montpellier, France, 28 p.

DUGUE P., LE GAL P.-Y., LELANDIS B., PICARD J., PIRAUX M., 1997. Modalités d'intégration de l'agriculture et de l'élevage et impact sur la gestion de la fertilité en zone soudano-sahélienne. In *Soil fertility management*



in West African land use systems. Ed. Margraf Verlag (Weikersheim), p. 369-380.

DUGUE P., OLINA J.-P., 1997. Utilisation des légumineuses pour l'amélioration des jachères et la production de fourrage. Irad/dpdt, Garoua, Cameroun, 22 p.

DUGUE P., 1998. Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs. Document de travail Cirad-tera 29/98, Montpellier, France, 67 p.

DULIEU D., 1987. L'intensification fourragère en zone sub-humide. L'exemple de la Côte d'Ivoire, nouvelles perspectives en milieu paysan. In Terroirs pastoraux et agropastoraux en zone tropicale. Gestion, aménagement et intensification fourragère. Etudes et Synthèses de l'emvt, Cirad-emvt, Montpellier, France, p. 235-277.

GARIN P., FAYE A., LERICOLLAIS A., SISSOKHO M., 1990. Evolution du rôle du bétail dans la gestion de la fertilité des terroirs sereer au Sénégal. Cahiers de la recherche-développement 26 : 65-84.

GIRAUDY F., 1993. La culture du coton et l'utilisation des intrants sur les céréales dans la zone Mali-Sud. Cellule suivi-évaluation Cmdt, Bamako, Mali, 18 p.

GUILLONEAU A., 1988. Les parcs de nuit et l'utilisations des déjections animales dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Idessa, Bouaké, Côte d'Ivoire, 26 p.

LANDAIS E., LHOSTE P., GUERIN H., 1991. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. In Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Ed. Focal Coop, ministère de la coopération et du développement, Paris, France, p. 219-270.

LERICOLLAIS A., FAYE A., 1992. Des troupeaux sans pâturages en pays sereer au Sénégal. In A la croisée des parcours. Pasteurs, éleveurs, cultivateurs. Orstom, Paris, France, p. 165-196.

LHOSTE P., 1987. L'association agriculture-élevage. Evolution du système agro-pastoral au Sine Saloum (Sénégal). Cirad-emvt, Montpellier, France, Etudes et synthèses de l'emvt 21.

LHOSTE P., DOLLE V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1993. Zootechnie des régions chaudes : les systèmes d'élevage. Collection Manuels et précis d'élevage, ministère de la coopération, Paris, France, 288 p.

REISS D., PICARD J., DJOUMESSI M., MOUSSA C., KENIKOU C., ONANA J., 1997. Trois situations d'usage des ressources pastorales en zone soudano-sahélienne. In Agriculture des savanes du Nord-Cameroun, actes de l'atelier d'échange, 25-29 novembre 1996, Garoua, Cameroun. Collection Colloques, Cirad, Montpellier, France, p. 211-225.

TRIOMPHE B., 1996. Seasonal nitrogen dynamics and long-term changes in soil properties under the mucuna/maize cropping system on the hillsides of northern Honduras. Thèse Ph.D, Cornell University, Etats-Unis, 217 p.

## Résumé... Abstract... Resumen

### P. DUGUE — Les transferts de fertilité dus à l'élevage en zone de savane.

En Afrique soudano-sahélienne et soudanienne, les ruminants valorisent des ressources fourragères de faible qualité, pauvres en azote. La mobilité des troupeaux assure des transferts de fertilité des zones de pâturage vers les aires cultivées. L'utilisation de cette fumure est un des éléments de base des modèles de développement fondés sur l'intégration de l'élevage et de l'agriculture. Les transferts de fertilité se caractérisent par des flux de matières organiques et minérales liés à leur transport par les populations, par des phénomènes naturels (érosion hydrique et éolienne) et au déplacement du cheptel. L'article analyse les transferts de fertilité à l'échelle de deux terroirs agropastoraux du nord du Cameroun. Cette étude de cas est associée à une revue bibliographique relative aux transferts de fertilité dans les principales situations agricoles de la zone de savane d'Afrique sub-saharienne. Charge en bétail, fertilisation des cultures, gestion de la fertilité du sol, utilisation actuelle de la fumure animale, potentiel en fumure organique d'origine animale, Localisation des apports, conduite des troupeaux, flux des résidus de culture et de sous-produits agricoles sont successivement quantifiés et commentés. Des voies d'amélioration sont proposées, qui touchent l'ensemble de la gestion des terroirs et de l'occupation de l'espace en zone de savane. Elles tiennent compte de l'évolution de l'installation des populations humaines : zones à faible densité de population et à élevage extensif, zones d'élevage traditionnel où les surfaces cultivées progressent rapidement, zones à dominante agricole où l'élevage est régression.

Mots-clés : fumure organique, gestion de terroir, parcours, pâturage, élevage, zone tropicale à une saison des pluies, Afrique.

### P. DUGUE — Fertility transfers due to livestock rearing in savannah zones.

In Sudan-Sahelian and Sudanese Africa, ruminants consume poor quality forage with a low nitrogen content. Herd mobility ensures fertility transfers from pastoral to cultivated areas. Manure is one of the keynotes of development models based on integrating livestock rearing and agriculture. Fertility transfers are characterized by organic matter and nutrient flows linked to their transport by humans, natural phenomena (water and wind erosion), and livestock movements. The article analyses fertility transfers in two agro-pastoral areas in northern Cameroon. The case study is accompanied by a bibliographical review concerning fertility transfers in the main agricultural situations in the savannah zone of sub-Saharan Africa. Stock numbers, crop fertilization, soil fertility management, current use of manure, the prospects for organic fertilizers of animal origin, application areas, stock management techniques, and crop residue and agricultural by-product flows are successively quantified and discussed. Improvements are proposed, encompassing every aspect of land management and occupation in savannah zones. They take account of human population trends: zones with low population density and extensive livestock rearing, traditional livestock rearing areas where the cultivated area is expanding rapidly and predominantly agricultural areas where livestock rearing is regressing.

Keywords: organic fertilizer, land management, commanage, pasture, livestock rearing, tropical zones with a rainy season, Africa

### P. DUGUE — Las transferencias de fertilidad debidas a la ganaderia en zona de sabana.

En África sudano-saheliana y sudanesa, los rumiantes valorizan los recursos forrajeros, de baja calidad, pobres de nitrógeno. La movilidad de las manadas asegura transferencias de fertilidad de las zonas de pasto hacia áreas cultivadas. La utilización de este abono es uno de los elementos básicos de los modelos de desarrollo fundamentados en la integración de la ganadería y de la agricultura. Las transferencias de fertilidad se caracterizan por flujos de materias orgánicas y minerales relacionados con su transporte por las poblaciones, por los fenómenos naturales (erosión hídrica y eólica) y por el desplazamiento del ganado. El artículo analiza las transferencias de fertilidad a escala de dos terruños agro pastorales del norte de Camerún. Este estudio de caso está asociado con un examen bibliográfico relativo a las transferencias de fertilidad en las principales situaciones agrícolas de la zona de sabana de África sub sahariana. Sucusivamente, se cuantifican y comentan la carga en ganado, la fertilización de los cultivos, la gestión de la fertilidad del suelo, la utilización actual del abono animal, el potencial en abono orgánico de origen animal, la localización de los aportes, el manejo de las manadas, los flujos de los residuos de cultivo y de subproductos agrícolas. Se proponen vías de mejoramiento, que abarcan toda la gestión de los terruños y de la ocupación del espacio en zona de sabana. Tamen en cuenta la evolución de la instalación de las poblaciones humanas: zonas de baja densidad de población y ganadería extensiva, zonas de ganadería tradicional donde las superficies progresan rápidamente, zonas con dominante agrícola donde la ganadería se halla regresando.

Palabras-claves: fertilización orgánica, gestión de terruño, recorrida, pasto, ganadería, zona tropical temporal de lluvias, África.



Pâturage de 15 ans de *Bracharia decumbens* en premier plan, pivot d'irrigation sur soja au second plan. Termitières marquées après traitement insecticide. Saison sèche, Etat du Goiás, Brésil.

M. Brassard

Jachère ancienne fortement anthropisée (coupe de bois, feu, pâturage) en zone soudano-sahélienne.

D. Masse



Vent de poussière levée à partir des jeunes cultures de coton. Etat du Goiás, Brésil.

L. Vilela



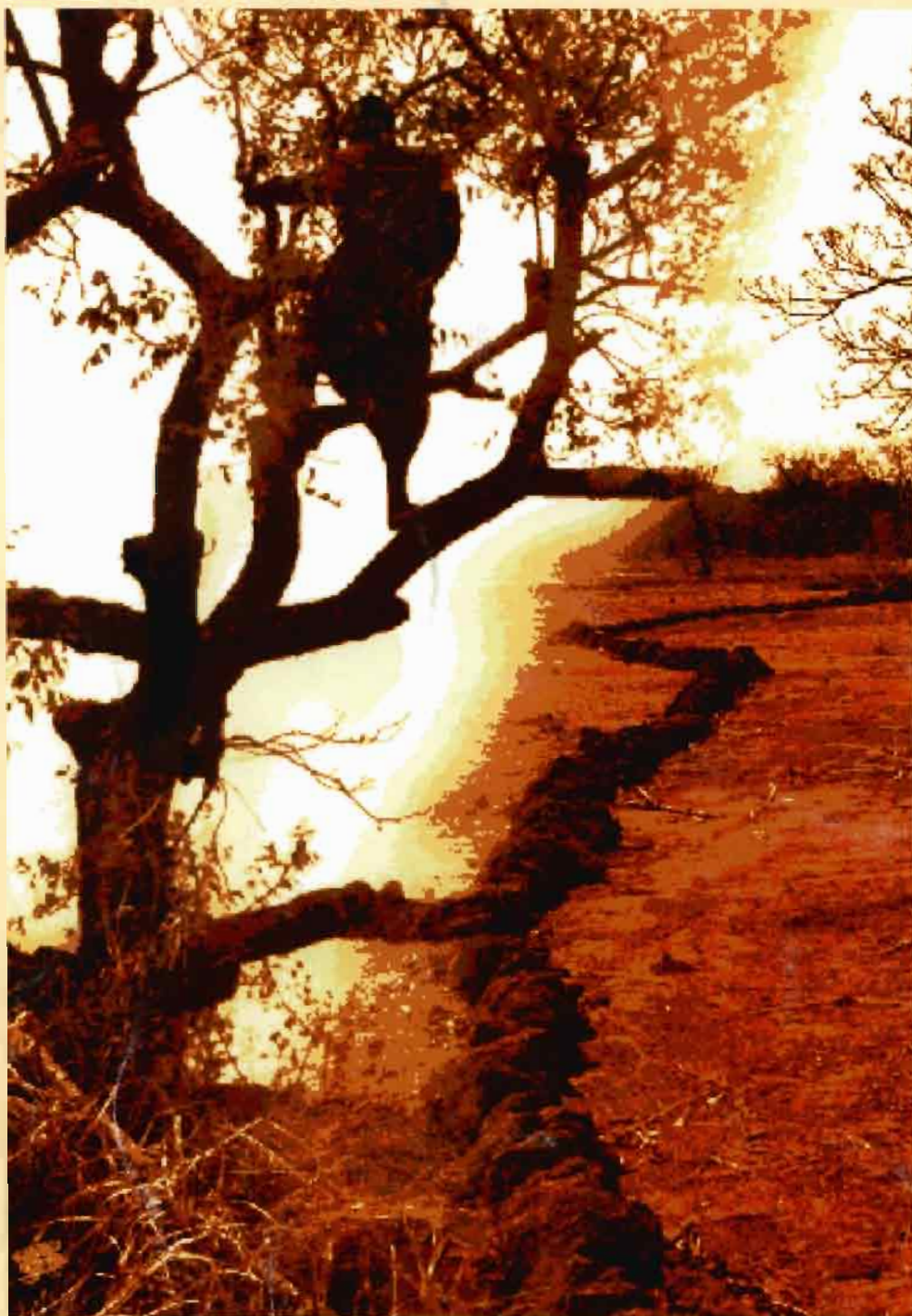
Jachère ancienne protégée contre le feu le parcours des animaux et l'exploitation du bois en zone soudano-sahélienne.

D. Masse

La biomasse racinaire des ligneux : élément important de la dynamique de la matière organique du sol dans le cycle culture-jachère.

C. Floret





Agriculture  
et  
développement

*n°18 – juin 1998*

**Spécial  
sols tropicaux**